

Aus der Abteilung für zahnärztliche Werkstoffkunde
(Leiter: Professor Dr.med.dent Joachim Viohl)
des Instituts für Klinisch-Theoretische Zahn-, Mund-
und Kieferheilkunde des Fachbereiches Zahn-, Mund- und
Kieferheilkunde der Freien Universität Berlin

DIMENSIONSVERHALTEN VON ZAHNÄRZTLICHEN MODELLWERKSTOFFEN

Dissertation

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Dietmar Palloks
aus Bandelow

1983





Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Abteilung für zahnärztliche Werkstoffkunde
(Leiter: Professor Dr.med.dent Joachim Viohl)
des Instituts für Klinisch-Theoretische Zahn-,
Mund- und Kieferheilkunde des Fachbereiches Zahn-,
Mund- und Kieferheilkunde der Freien Universität
Berlin

DIMENSIONSVERHALTEN
VON ZAHNÄRZTLICHEN
MODELLWERKSTOFFEN

Dissertation

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Zahnarzt Dietmar Palloks

aus Bandelow

Referent: Professor Dr.med.dent. Joachim Viohl

Korreferent: Professor Dr.med.dent. Karl Eichner

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches
Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 12. Dezember 1983

Meiner Frau Helga gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>
1. EINLEITUNG	9
2. HAUPTTEIL	10
2.1. <u>Schrifttumübersicht</u>	10
2.1.1. <u>Abformwerkstoffe</u>	10
1. Einteilung	10
2. Forderungen an die Abformwerkstoffe	11
3. Eigenschaften der Silikon- Abformwerkstoffe	11
4. Abbindezeit	13
5. Dimensionstreue	13
2.1.2. <u>Modellwerkstoffe</u>	14
1. Einteilung	14
2. Forderungen an die Modellwerkstoffe	15
3. Spezialhartgipse - Eigenschaften ..	16
3.1. Abbindezeit	17
3.2. Verkürzung der Abbindezeit	18
3.3. Verlängerung der Abbindezeit	18
3.4. Dimensionsverhalten	19
4. Kunststoffe	20
5. Metallspritzverfahren	21
2.1.3. <u>Meßverfahren</u>	22
2.2. <u>Eigene Untersuchungen</u>	29
2.2.1. <u>Methodik</u>	29
1. Urmodell	29
2. Löffel	32

	<u>Seite</u>
3. Sockelgerät	34
2.2.2. <u>Vorversuche</u>	36
1. Abformmaterialien	36
2. Modellwerkstoffe	38
2.1. Spezialhartgipse	38
2.2. Kunststoffe	39
2.3. Metallspritzverfahren	39
2.2.3. <u>Hauptversuche</u>	42
1. Allgemeines	42
2. Versuche mit Spezialhartgipsen	
ohne Vakuum angemischt	43
3. Versuche mit Spezialhartgipsen	
unter Vakuum angemischt	49
4. Versuche mit Hilfe des Metallspritz-	
verfahrens	51
4.1. 15 s Sprühdauer	52
4.2. 5 s Sprühdauer	54
5. Versuche mit Kunststoffen ohne	
Metallspritzverfahren	62
6. Versuche mit Kunststoffen mit dem	
Metallspritzverfahren	65
1. 15 s Sprühdauer	65
2. 5 s Sprühdauer	66
2.3. <u>Diskussion</u>	70
2.3.1. Eigene Meßmethodik - übrige Meßmethoden	70
1. Urmodell	70

	<u>Seite</u>
2. Löffel	71
3. Sockelgerät	72
4. Durchführung der Messung	73
5. Reproduzierbarkeit	74
2.3.2. <u>Eigene Meßergebnisse - übrige Meßergeb-</u> <u>nisse</u>	74
1. Vergleich gleicher Materialkombi- nationen	74
2. Vergleich ähnlicher Materialkombi- nationen	76
3. Einordnung bisher nicht bekannter Materialkombinationen	77
4. Einfluß der Vakuumbehandlung	78
2.3.3. <u>Wertender Vergleich</u>	78
2.4. <u>Klinische Hinweise</u>	80
3. ZUSAMMENFASSUNG	82
4. SCHRIFTTUMVERZEICHNIS	84

1. EINLEITUNG

Täglich steht der praktisch tätige Zahnarzt vor der Aufgabe, verkürzte oder unterbrochene Zahnreihen durch prothetische Maßnahmen wie Kronen, Brücken oder kombinierten Zahnersatz wieder zu ergänzen. Um jedoch außer einem ästhetischen auch einen funktionell optimalen Zahnersatz anfertigen zu können, ist ein Situationsmodell für den Zahntechniker erforderlich, das folgende Forderungen erfüllen soll:

1. Das Situationsmodell soll die Details einer Abformung möglichst genau wiedergeben.
2. Das Situationsmodell soll so fest sein, daß es sich bei der Arbeit weder verformt noch abbricht oder abnutzt.
3. Das Situationsmodell soll sich leicht und schnell herstellen lassen und preiswert sein.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist, das Dimensionsverhalten von Hartgipsen und Kunststoffen, insbesondere in Verbindung mit dem Metallspritzverfahren zu klären. Die Dimensionstreue von galvanoplastischen Modellen wurde nicht untersucht, da sie wegen ihrer langwierigen Herstellung und nicht ungefährlichen Bäder nur selten angewandt wird.

Es ist angestrebt worden, möglichst praxisähnlich vorzugehen.



2. HAUPTTEIL

2.1. Schrifttumübersicht

2.1.1. Abformwerkstoffe

1. Einteilung

Für jedes indirekte Verfahren zur Herstellung von Zahnersatz ist es notwendig, mit Hilfe eines Abdruckes zu einer Negativform zu gelangen, aus der wieder ein positives Modell gewonnen werden kann - das Arbeitsmodell.

"Der Abdruck soll die Situation am Patienten dimensionsgetreu wiedergeben, um daraus ein unverfälschtes Modell herstellen zu können." (31)

Man unterscheidet die Abformwerkstoffe in vier Hauptgruppen.

1. Irreversibel - starr
2. Reversibel - starr
3. Reversibel - elastisch
4. Irreversibel - elastisch

Da in den meisten Zahnarztpraxen vorwiegend mit den zur Gruppe 4 gehörenden Abformwerkstoffen gearbeitet wird, soll in der vorliegenden Arbeit nur auf diese eingegangen werden.

Die irreversiblen-elastischen Abformwerkstoffe untergliedern sich in weitere zwei Gruppen mit einer Untergruppierung.

1. Alginate
2. Elastomere

2.1. Polysulfide

2.2. Silikone

2.3. Polyäther

Für die Versuche wurden ausschließlich Abformwerkstoffe der Gruppe 2.2. verwendet.

2. Forderungen an die Abformwerkstoffe

Die Abformwerkstoffe sollten folgende Forderungen erfüllen:

1. angenehmer Geruch und Geschmack
2. weder allgemein noch lokal toxisch
3. lagerfähig
4. einfach zu verarbeiten
5. geeignete Konsistenz
6. geeignete Abbindezeit
7. ausreichende Festigkeit oder Elastizität
8. hohe Dimensionstreue
9. gute Detailwiedergabe
10. Kompatibilität mit Modellwerkstoffen

Speziell den Punkten 7.-10. kommen besondere Bedeutung zu. (17, 21)

In dieser Arbeit findet bevorzugt die Forderung nach hoher Dimensionstreue besondere Beachtung.

3. Eigenschaften der Silikon-Abformwerkstoffe

Die Silikon-Abformmassen bestehen aus zwei Komponenten - entweder Paste-Paste oder Paste-Flüssigkeit -.

Die wesentlichen Bestandteile der Basispaste sind Polysiloxane (Si - O - Ketten) mit endständigen OH-Gruppen. Die Füllstoffe bestimmen die Konsistenz. Der Zusatz von Paraffinöl dient als Weichmacher.

Der Härter enthält als Katalysator Zinnoktoat oder Dibutyl-Zinndilaurat und als Vernetzer ein mehrfunktionelles Alkoxysilan. Beim Mischen der beiden Komponenten kommt es zunächst zu einer Kettenverlängerung, die einen Anstieg der Viskosität bewirkt, dann zu einer zunehmenden Vernetzung, die mit wachsender Elastizität einhergeht. Bei der Kondensation entsteht Alkohol. Durch das Verdampfen des Alkohols tritt eine Schrumpfung ein, die nach der Abbindezeit eine lineare Dimensionsänderung von 0,2-0,4 % hervorruft.

Für einen Abdruck wird bei Knetmassen die Basispaste mit dem dazugehörigen Dosierlöffel entnommen. Bei leichter fließenden Massen wird eine gewünschte Stranglänge aus der Tube auf dem Mischblock ausgedrückt. Die entsprechende Härterpaste wird dazugegeben.

Die Knetmassen werden zunächst behutsam, dann kräftig und intensiv durchgeknetet, um eine möglichst homogene Mischung zu erhalten. Dann wird die Masse auf einen mit geeignetem Haftlack versehenen Löffel gebracht und die Erstabformung vorgenommen.

Die Komponenten der leichtfließenden Massen werden durch Durchspateln oder Rühren miteinander vermengt, dann in den Vorabdruck aus der gehärteten Knetmasse

gebracht und der Zweitabdruck durchgeführt.

Zuvor sind jedoch in den Vorabdruck mit dem Skalpell Abflußrinnen einzuschneiden. Um eine ausreichend hohe elastische Rückstellung zu erzielen, muß der Abdruck zum Abbinden genügend lange im Mund verbleiben und dann möglichst ruckartig abgezogen werden. (11, 14)

Silikonabdrücke werden mit Hartgips oder Kunststoff ausgegossen, galvanisch versilbert oder verkupfert oder im Metallspritzverfahren ausgesprüht.

4. Abbindezeit

Die Abbindezeit soll so gewählt werden, daß keine unnötig lange Wartezeit für den Patienten entsteht. Die erhöhte Mundtemperatur beschleunigt den Abbindeprozeß. Polysulfide und additionsvernetzte Silikone werden stärker beeinflusst als kondensationsvernetzte Silikone. (2, 3)

Schwierigkeiten treten bei der Bestimmung des Zeitpunktes zum Herausnehmen des Abdrucks auf. Insbesondere kann die unvollständige Elastizität nicht festgestellt werden. Selbst bei wissenschaftlichen Untersuchungen zeigen sich Schwierigkeiten wie am sinnvollsten zu messen ist. (4, 14, 30)

5. Dimensionstreue

Thermische Kontraktion und Abbindeschumpfung führen zu Dimensionsänderungen. (27) Die thermische Kon-

traktion von Mund- auf Raumtemperatur und die Abbinde-schrumpfung liegen linear zwischen 0,15 und 0,5 %. Dagegen ist die Kontraktion bei Lagerung relativ gering. Es ist mit einer linearen Schrumpfung von 0,1 - 0,4 % zu rechnen, wobei die leichtfließenden Elastomere mit dem geringeren Füllstoffgehalt mehr schrumpfen.

Die bisherigen Angaben in Prozent geben die Abweichung der Ausgangsgröße wieder und beschreiben die Werkstoffcharakteristik des jeweiligen Materials. Für die Herstellung von Zahnersatz interessiert jedoch der absolute Betrag bezogen auf die zahnärztliche Dimension. (20)

Sollen Modellgüsse, Kronen und Brücken mit einer Genauigkeit von 50 μ m passen (8, 25), und läßt man wegen der Ungenauigkeiten bei der Herstellung etwa die Hälfte dieses Betrages für den Abdruck zu, so müssen alle Abweichungen über 25 μ m entsprechend einer Dimensionsänderung um 0,1 % kritisch betrachtet werden. (31)

Beim Doppelabdruck kann ein Teil der Schrumpfung des Erstabdruckes durch die Zugabe des Zweitmaterials zu einer Verringerung der Verfälschung führen. (1, 18)

2.1.2. Modellwerkstoffe

1. Einteilung

Die Abformung der Kiefer und Zähne mit den verschiedenen Abformwerkstoffen kann nicht für sich allein dargestellt und abgeschlossen werden. Beide Werk-

stoffe, die Abform- sowie die Modellwerkstoffe, gehören sowohl aufgrund ihres Verwendungszweckes als auch hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften arbeitstechnisch zusammen. Erst die Modellherstellung mit den geeigneten Modellwerkstoffen vollendet diese Aufgabe. Das Arbeitsmodell soll dem Original kongruent sein. Da die unterschiedlichen Werkstoffe sowohl kontrahieren als auch expandieren, sollte eine Kombination gewählt werden, bei der sich die unterschiedlichen Eigenschaften zum Teil gegenseitig aufheben.

Dabei ist besonders darauf zu achten, daß das Abformmaterial und der Modellwerkstoff nicht miteinander reagieren. Die heute am häufigsten benutzten Modellwerkstoffe lassen sich in vier Gruppen einteilen:

1. Spezialhartgipse
2. Kunststoffe mit Füllstoffen
3. galvanoplastische Modellherstellung
4. Metallspritzverfahren

2. Forderungen an die Modellwerkstoffe

An die Modellwerkstoffe werden folgende Forderungen gestellt: (5)

1. hohe Dimensionsstabilität
2. gute Detailwiedergabe
3. ausreichende Abreibefestigkeit
4. ausreichende Biegefestigkeit

5. einfache Handhabung

6. Verträglichkeit mit Abformwerkstoffen
und Wachsen

3. Spezialhartgipse - Eigenschaften

Die meisten Spezialhartgipse, auch als "extraharte Hartgipse" oder "Stonegips" bezeichnet, bestehen meistens aus synthetischem Gips, der in der Industrie anfällt. Der Vorteil des synthetischen Gipses gegenüber dem natürlichen Gips besteht darin, daß der synthetische Gips weniger Verunreinigungen enthält. Außerdem enthält er noch Zusatzstoffe, die unter anderem die Aufgabe haben, die Abbindeexpansion gering zu halten. Die Spezialhartgipse benötigen zum Anrühren weniger Wasser als die gewöhnlichen Hartgipse. Die von den Herstellern empfohlenen Wasser-Pulver-Verhältnisse liegen zwischen 0,25 : 1 und 0,21 : 1 (ml Wasser:g Pulver). (13)

Das bedeutet, daß ein angerührter Spezialhartgips zähflüssiger ist als ein Hartgipsteig. Seine optimalen Eigenschaften erreicht ein Spezialhartgips nur bei dem empfohlenen Mischungsverhältnis. (5) Wegen seiner zähflüssigen Konsistenz sollte jeder Spezialhartgips mit einem Rüttler in das Abformnegativ eingerüttelt werden.

3.1. Abbindezeit

Bei der Umwandlung des Halbhydrats mit Wasser müssen nach KRUIS (22) zwei Reaktionen ein und desselben Vorganges unterschieden werden:

"Der chemische Prozeß des Hydratisierens (Lösen von Halbhydrat und Auskristallisieren von Dihydrat) und der physikalische Prozeß des mechanischen Versteifens, des Abbindens."

Die Induktionsperiode beginnt mit dem Einstreuen des Gipspulvers in Wasser. Sie endet, sobald die ersten Dihydratkristalle ausfallen und die Temperatur zu steigen beginnt. (28)

Im DIN Entwurf 13 911 (1974) für zahnärztliche Gipse wird das Erstarrungsende mit dem Nadelgerät nach Vicat geprüft. Es wird der Zeitpunkt bestimmt, an dem die Nadel noch höchstens 2 mm in den erstarrten Gips eindringt.

Eine elektrische Messung der Erstarrungs- oder Abbindezeit wurde von FRANZ (12) beschrieben. Diese Methode bewirkt, daß die Kristallisationsvorgänge im Gips nicht durch ständiges Eindringen einer Nadel gestört werden. Zwei Elektroden werden im Gipsformträger gegenüberliegend angebracht. Als Stromquelle dient eine Batteriezelle mit 1,5 Volt im Vielfachmeßgerät. Gemessen wurde der während der Erstarrung sich ändernde Widerstand mit der Zeit. Die Widerstandsänderung ist

so charakteristisch, daß der Zeitpunkt der Erstarrung sehr exakt anzugeben ist.

3.2. Verkürzung der Abbindezeit

Nach VOELLMY (32), KRUIS (22), SCHOENBECK (26), KLÖTZER und KÖRBER, E. (19) wird die Abbindezeit verkürzt durch:

1. natürliche Verunreinigung im Halbhylrat, z.B. 0,1 % Dihylrat verkürzt die Abbindezeit um 75 %
2. Salzzugaben, z.B. Natriumsulfat bis 3 %, Natriumchlorid bis 2,5 %, Kaliumsulfat 2 bis 3 %
3. Verlängerung der Mischzeit, d.h. je länger und intensiver der Gips angerührt wird, desto kürzer wird die Abbindezeit - jedoch nur bis zu einem Grenzwert, an dem der Gips totgerührt ist, d.h. übermäßiges Rühren stört den Kristallverband des abbindenden Gipsbreis
4. die Temperatur des Mischwassers
5. niedriges Wasser-Gips-Verhältnis

3.3. Verlängerung der Abbindezeit

Folgende Faktoren führen zu einer Verlängerung der Abbindezeit:

1. Erhöhung der Temperatur des Mischwassers und des Gipspulvers auf 36 °C
2. höheres Wasser-Gips-Verhältnis
3. Salzzugaben wie Nitrate, Carbonate, Aceton, Äther Citrate und Natriumchlorid ab 2 %
4. Verunreinigungen wie: getrocknetes Blut, Kolloide, Gummi arabicum

3.4. Dimensionsverhalten

Die Volumenänderung erklärt VAN'T HOFF (29) durch die Hydratationsvorgänge folgendermaßen:

Dihydrat hat ein kleineres Volumen (Dichte 2,31 g/ccm) als Halbhidrat (Dichte 2,757 g(ccm) und das zu seiner Hydratation notwendige Wasser zusammen. Daher nimmt bei der Hydratation das absolute Volumen ab. Das scheinbare Volumen, gebildet aus der Summe der Volumina von Feststoff und Poren, die mit freiem Wasser und Luft angefüllt werden, nimmt zu.

Früher als die industrielle Bautechnik hat sich bereits die zahnärztliche Werkstoffkunde mit der Volumenänderung des Gipses befaßt. GYSI (16) hat die Volumenänderung bereits 1918 als häufige Fehlerquelle in der Plattenprothetik bezeichnet.

KLÖTZER und KÖRBER, E. (19) schreiben in der 1974 erschienenen Auflage des Werkstoffkundebuchs von Eichner "Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung", daß sich das "fertige Gipsmodell gegenüber der Hohlform

der Abformung vergrößert; je nach Gipsorte beträgt die Abbindeexpansion zwischen 0,06 und 0,6 % linear". MAHLER (23) gibt eine Expansion von 0,4 % an. Nach WEIKART (34) beträgt die Expansion 0,2 - 0,6 % und nach DREYER JØRGENSEN (7) 0,1 - 0,4 %.

Die benutzten Prüfeinrichtungen und die Ergebnisse der bisher bekannten Arbeiten stimmen meist nicht überein. Die Untersuchungen beschränken sich auch auf die Veränderungen des Werkstoffes an sich und gehen nicht vergleichend auf die Situation ein, von der der Abdruck genommen wurde. Die Spezialhartgipse zeigen ein relativ geringeres Expansionsverhalten. Durch die Verdunstung des freien Wassers geht die Abbindeexpansion etwas zurück, so daß nach 24 Stunden nur noch eine Expansion von 0,1 % linear bestehen soll. (9, 24, 35)

4. Kunststoffe

Da von den Modellwerkstoffen eine ausreichende Abriebfestigkeit, Biegefestigkeit und Steifigkeit verlangt wird, verwendet man nur Kunststoffe mit Füllstoffen. Die Füllstoffe nehmen etwa die Hälfte des Volumens ein. Durch die Füllstoffe wird auch die Kontraktion beim Abbinden stark vermindert. Der Kunststoff hat nur die Aufgabe, als Bindemittel zwischen den Füllstoffteilchen zu wirken. (5)

Es werden von den Herstellern eine Vielzahl von Kunststoffen, z.B. Epoxidharze, Melaninharze und eine

Vielzahl von Füllstoffen, z.B. Kupfer, Silikat, keramische Massen, Hartgipspulver verwendet. Da die Kunststoff-Metallwerkstoffe nach dem Anmischen sehr zähflüssig sind, können sie im allgemeinen nicht in das Abdrucknegativ gegossen werden, sondern müssen hineingestrichen werden.

Die Verwendung eines Rüttlers ist nicht zu empfehlen, da sonst die schweren Füllstoffteilchen nach unten absinken, was zu einer ungleichmäßigen Verteilung von Kunststoff und Füllstoff führt. (1)

Das Dimensionsverhalten ist weniger günstig als bei den Spezialhartgipsen. Durch den hohen Füllstoffgehalt wird zwar die Abbindeschrumpfung gegenüber der Polymerisationsschrumpfung des reinen Kunststoffes stark vermindert, trotzdem liegt die Schrumpfung der heute verwendeten Materialien noch bei etwa 0,8 % linear. (10, 15, 35)

5. Metallspritzverfahren

Seit geraumer Zeit wird auf dem Markt ein Metallspritzverfahren der Firma Ivoclar propagiert. Hierbei wird mit einer Spezial-Spritzpistole eine Wismut-Zinn-Legierung in das Abformnegativ gesprüht. Die Legierung hat einen Schmelzpunkt von 138 °C. Sofort nach dem Auftreffen auf das Abdruckmaterial erstarrt sie. Man muß jedoch dicht genug mit der Pistole an den Abdruck herangehen, da sonst das Metall zu früh erstarrt und man

keine zusammenhängende Metallschicht mehr erhält. (15)
Es liegen bis jetzt keine werkstoffkundlichen Untersuchungen vor.

2.1.3. Meßverfahren

Im Schrifttum ist eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Untersuchung des Dimensionsverhaltens von Gipsen beschrieben.

Bis auf einzelne Ausnahmen beziehen sich alle Untersuchungen auf das Dimensionsverhalten des Gipses an sich. Hierbei stellt sich heraus, daß die meisten Autoren auf recht unterschiedliche Ergebnisse kommen.

Dies hat seine Ursache in verschiedenen Gründen.

Das Dimensionsverhalten von Gipsen ist unter anderem abhängig

1. vom Wasser-Gips-Verhältnis:

bei zunehmendem Wasseranteil steigt die Expansion

2. von der Rührzeit:

verlängerte Rührzeit erhöht die Expansion

3. von der Luftfeuchtigkeit:

bei erhöhter Luftfeuchtigkeit steigt die Expansion

4. von chemischen Zusätzen:

durch Kaliumsulfat und Rochelle-Salz wird die Expansion verringert

Die wesentlichen Gründe für die unterschiedlichen Meßergebnisse sind in den unterschiedlichen

Untersuchungsmethoden der einzelnen Autoren zu suchen, wobei der Beginn der Messung sowie die Meßmethode die entscheidende Rolle spielen. FRANZ (13) hat die wesentlichen Methoden zusammengefaßt.

Gibson und Johnson Kusner	U- oder v-förmiger 100 mm langer Trog aus Messing oder Bronze mit längsbeweglicher Stirnfläche und Meßuhr
------------------------------	---

Lehmann und Kreuter Pantke und Herrnsdorf	Metallform (200 x 40 x 40 mm) freibewegliche Stirnwand und Meßuhr
---	---

Pearson	Holzform (600 x 100 x 25 mm) 2 Mikroskope im Abstand von 500 mm
---------	---

ADA Spez. Nr. 25	V-förmiger Trog mit 2 Meßmarkierungen 300 mm entfernt - Mikrometer - Mikroskop - Komparator
------------------	---

Chassevent	Kautschukzylinder 100 mm hoch und 20 mm Durchmesser, Messung mit Dilatometer oder Meßuhr
------------	--

Schwindling und Genieser	Gummizylinder 29 mm hoch und 28 mm Durchmesser, Spiegel- kathetometer
-----------------------------	---

Welker	Zelluloidzylinder 30 mm hoch und 31 mm Durchmesser, Meßuhr
--------	---

Docking, Kusner Kobes und Narita	Messung auf Quecksilberbad mit 2 vertikalen Meßstäben, zwi- schen denen eine Meßuhr ange- bracht war
--	---

Tab. 1 Übersicht der in der Literatur angegebenen
Meßmethoden

Chassevent, Porter Gibson und Johnson	Größere Expansion bei kleine- rem Wasserfaktor
--	---

Lehmann und Kreuter, Bennstein, Zit. nach Schoenbeck	Größere Expansion bei größe- rem Wasserfaktor
--	--

Pantke und Herrnsdorf	Größere Expansion bei jeder Änderung des vom Hersteller angegebenen Wasserfaktors
--------------------------	---

Chassevent, Lehmann und Kreuter	Größere Expansion bei ober- flächlicher Wasserschicht
------------------------------------	--

Gibson und Johnson	Größere Expansion bei län- gerer Mischdauer
--------------------	--

Schwindling und Genieser	Expansion des Gipses als Funktion des exothermen Vorgangs
-----------------------------	---

Kusner und Michman	Zinnfolie behindert Expan- sion mehr als Teflon-Folie
--------------------	--

Tab. 2 Übersicht der verschiedenen Literaturangaben
zur Raumänderung des Gipses

Jedoch ist bei all diesen Untersuchungen nicht auf das Entscheidende bei der Erstellung von Zahnersatz eingegangen worden, nämlich auf die Dimensionstreuung des Werkstoffes auf ein vorgegebenes Originalmodell.

Zu diesem Problem liegt nur eine Untersuchung von D. WELKER und AURADNICZEK (35) und FRANZ, G. (13) vor.

WELKER und AURADNICZEK untersuchten die Spezialhartgipse Tewestone (Kettenbach) und Dentaloc (VEB Spezialchemie Hohnbocka).

Von den Werkstoffen auf Kunststoffbasis untersuchten sie Impredur (Espe), Diemed 4473 (Erkodent) und Dicodur 72/13/15 (Kettenbach).

Das Dimensionsverhalten wurde nach indirekter Methode, durch Herstellung von Modellkörpern in standardisierten Silikonhohlformen bestimmt. Von einem zylin-

drischen Messingnullkörper (Durchmesser 9,3093 mm, Umfang 29,2 mm, Länge 15 mm), der mit der Schubstange eines Höppler-Konsistometers senkrecht und zentrisch in einen Abformmassesträger (Innendurchmesser 14,3 mm, Höhe 17 mm) eintaucht, wurden Silikonformen mit einer Schichtstärke von durchschnittlich 2,5 mm gewonnen, 1 min nach Anmischbeginn abgeformt, nach weiteren 9 min der Nullkörper entfernt und bei Zimmertemperatur 50 min vor Einbringen des Modellwerkstoffes gelagert. An den Modellen wurden nach einer Woche in verschiedenen Meßebenen mit Hilfe eines Abbé-Komparators die Abweichungen vom Nullkörper gemessen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigt die Tabelle 3.

Tewestone	+ 0,93 % linear
Dentaloc	+ 1,20 % linear
Impredur	- 0,04 bis 0,09 % linear
Diemed	- 0,09 % linear
Dicodur	- 1,34 bis - 3,49 % linear

Tab. 3 Zusammenstellung der Expansion (+) und Kontraktion (-) der Meistermodelle gegenüber dem Ursprungsmodell.

Außerdem zeigte sich bei dieser Untersuchung, daß die okklusalen und okklusalwärts gelegenen Durchmesser stets eine stärkere Verkürzung bzw. geringere Ausweitung erfahren als die cervikalwärts gelegenen Durchmesser.

FRANZ, G. (13) untersucht die Dimensionstreue an einem gesockelten OK-Modell. Hierbei wurden mit Meßuhren drei Strecken vermessen.

1. Zwischen den bukkalen Flächen 17 und 27
2. Zwischen den labialen Flächen 13 und 23
3. Zwischen der labialen Fläche 21 und den Anschlagpunkten.

Sie kommt bei der Verwendung von Optosil als Abdruckmaterial und Vel-Mix-Stone als Modellwerkstoff zu folgenden Ergebnissen:

1. Durch die thermische Schrumpfung von 36 °C auf 23 °C sinkt die Kontraktion um etwa 0,02 % linear, gemessen nach 24 Stunden nach dem Ausgießen.
2. Je besser das Abdruckmaterial am Löffel haftet, desto geringer ist die Verziehung im Gipsmodell.

Die lineare Abweichung bei ihren Untersuchungen liegt beim Ausgießen des Abdrucks nach 30 min und 24 stündiger Lagerung zwischen 0,10 und 0,13 %; bei Ausgießen des Abdrucks nach 24 Stunden und Vermessen nach weiteren 2 Stunden zwischen 0,10 und 0,18 % linear.

2.2. Eigene Untersuchungen

2.2.1. Methodik

In der Untersuchung soll das Dimensionsverhalten von Modellwerkstoffen unter möglichst praxisnahen Bedingungen untersucht werden. So gilt es vor allen Dingen, nicht das Verhalten des Werkstoffes an sich zu untersuchen, sondern zu vergleichen, wie groß der Unterschied des Arbeitsmodells gegenüber dem Ursprungsmodell ist.

1. Urmodell

Um etwa in den Größenordnungen zu arbeiten, die in der Praxis vorkommen, wurde als Modell ein Metallblock mit den Ausmaßen 10/10/50 mm gewählt. In Vorversuchen hatte sich herausgestellt, daß der Block keine untersichgehenden Stellen haben darf, da diese bei der Abnahme des Abdruckes zu oft abrissen und somit eine zu starke Deformation des Abdruckes hervorriefen. Vor allem war nicht gewährleistet, daß das Abformmaterial sich trotz Haftlack nicht vom Abdrucklöffel löste. Es wurde deshalb ein Block mit senkrechten Flächen gewählt.

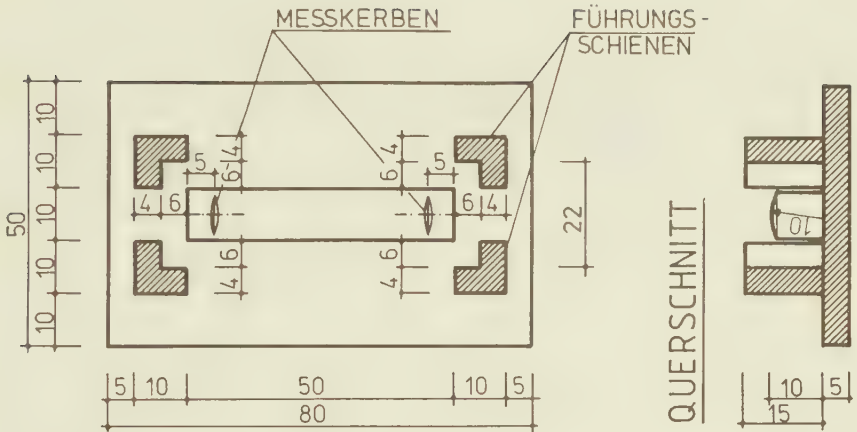
Eine andere Schwierigkeit trat beim Meßverfahren auf. Da mit mechanischen Fühlern nicht immer exakt der gleiche Punkt an verschiedenen Modellen zu erreichen ist, blieb nur die Vermessung mit Hilfe eines Meßmikroskopes übrig.

Dazu ist es notwendig, auf dem Modell eine Markierung anzubringen, die sich genau einstellen läßt. Dies ist nur möglich, wenn eine Markierung vorhanden ist, die genau auf Null ausläuft, z.B. den Endpunkt einer Kerbe. Eine Lösung dieses Problems ergibt sich, wenn man auf einem kreisförmigen Zylinder senkrecht zur Längsachse zwei keilförmige Fräsungen anbringt. Im vorliegenden Fall wurden zwei Fräsungen angebracht, die einen Öffnungswinkel von 60° haben.

Bei den ersten Vorversuchen zeigte sich jedoch, daß die Endpunkte dieser Fräsungen im Auslaufpunkt zu rund waren, so daß keine genaue Einstellung möglich war. Daraufhin wurde ein Stempel aus Werkzeugstahl auf einen Winkel von 60 Grad zugeschliffen. Dieser Stempel wurde dann auf die vorhandenen Kerben aufgesetzt und mit Hilfe einer Prägemaschine in die Kerben eingepreßt. Das Ergebnis war ein scharfkantig auslaufender Keil, der eine genaue Einstellung des Mikroskopes ermöglichte.

Um ein immer gleichbleibendes Ansetzen des Abdrucklöffels zu ermöglichen, wurden zusätzlich vier Führungsschienen auf das Modell montiert. Das für die Hauptversuche benutzte Modell zeigt die Abbildung 1.

GRUNDRISS



LÄNGSSCHNITT

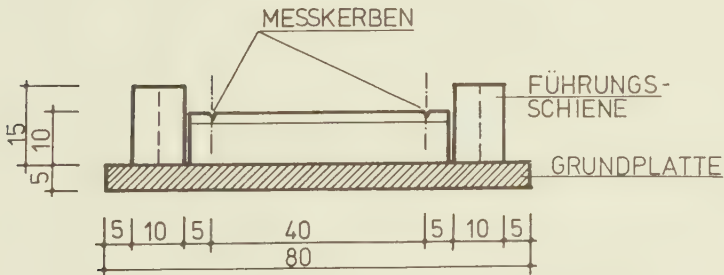


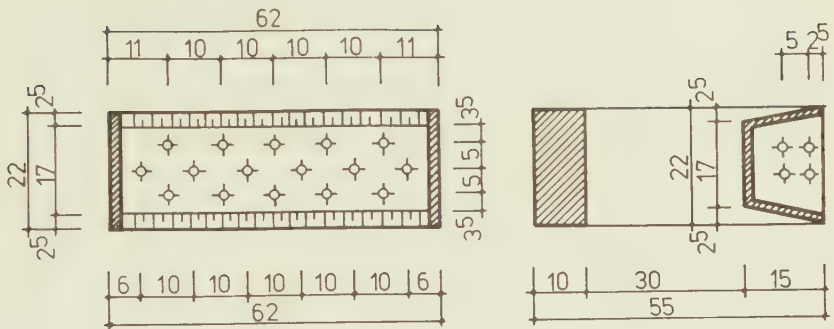
Abb.1

URSPRUNGSMODELL AUS V2A-STAHL
MIT FÜHRUNGSSCHIENEN AUF EINE
PLATTE MONTIERT.
MASZE IN MM

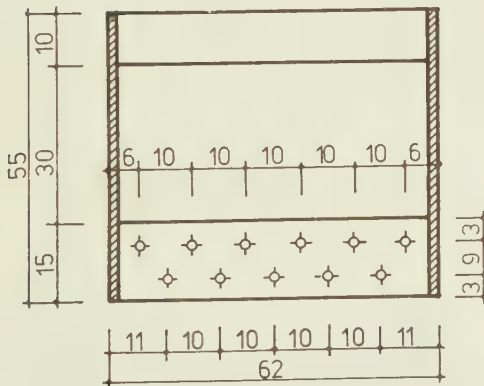
2. Löffel

Um eine immer gleichbleibende Dicke des Abformmaterials zu gewährleisten, wurde ein eigens für das Modell konzipierter Löffel angefertigt. Um eine ausreichende Haftung zu erreichen, wurde der Löffel mit einer entsprechenden Anzahl Löcher perforiert. Zudem erhielt er einen ausreichend dimensionierten Griff, um ein ruckartiges Abnehmen zu ermöglichen. Der Löffel entsprach Abbildung 2.

GRUNDRISS



LÄNGSSCHNITT



QUERSCHNITT

Abb. 2

ABDRUCKLÖFFEL AUS MESSING DER
EXAKT IN DIE FÜHRUNGSSCHIENEN
DER ABBILDUNG 1 PASST.
DURCHMESSER DER PERFORATION 2MM
MASSE IN MM

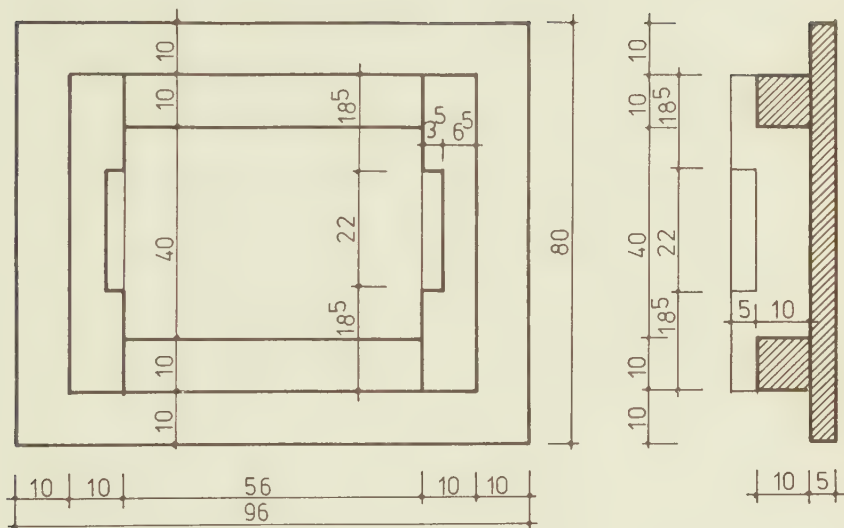
3. Sockelgerät

Die letzte Forderung war, das Arbeitsmodell immer in der gleichen Position an zwei Anschlagstellen am Mikroskop anzubringen. Hierzu wurde das Modell gemäß Abbildung 3 angefertigt, auf das der ausgegossene Abdruck aufgesetzt wurde.

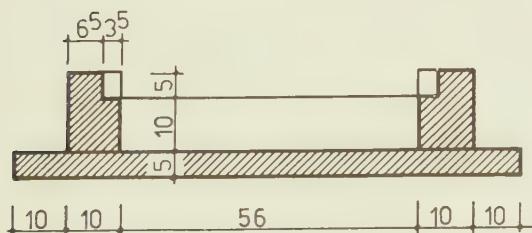
Um möglichst konstante Bedingungen für alle Versuche zu haben, wurde in einem klimatisierten Raum gearbeitet. Die Temperatur betrug $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, die Luftfeuchtigkeit betrug $50\text{ }\% \pm 2\text{ }\%$. Die Materialien befanden sich während der gesamten Versuchsdauer im Klimaraum. Ebenso das Ursprungsmodell.

Um keine zusätzlichen Verunreinigungen in den Gips zu bringen, wurden sämtliche Gipsmodelle mit destilliertem Wasser hergestellt.

GRUNDRISS



LÄNGSSCHNITT



QUERSCHNITT

Abb. 3

SOCKELGERÄT AUS MESSING ZUM EXAKTEN
ANBRINGEN DES ARBEITSMODELLES AUF
DEM MESSTISCH.
MASZE IN MM

2.2.2. Vorversuche

1. Abformmaterialien

Aus der Vielzahl der Abformmaterialien wurde die in den zahnärztlichen Praxen häufig verwendete Kombination Optosil/Xantopren der Firma Bayer verwendet.

In den Vorversuchen zeigte sich, daß man beide Abformmaterialien genau nach Angabe des Herstellers mit dem Härter mischen muß, da sonst zu große Streuungen bei der Abformgenauigkeit auftreten.

Es wurden folgende Mischungsverhältnisse verwendet:

1.	Optosil	Firma Bayer	Chargen Nr. 443749	18 g
	+Härter	" "	Chargen Nr. 441290	0.41 g
2.	Xantopren blau	"	Chargen Nr. 640609	2 g
	+Härter	" "	Chargen Nr. 441290	0.195 g
3.	Adhäsivlack	" "	Chargen Nr. 10105G	

Zuerst wurde der Löffel einmal mit Adhäsivlack vollständig bestrichen. Das Optosil wurde mit dem Härter 30 s geknetet, dann in den Abdrucklöffel gegeben und sofort auf das Ursprungsmodell gedrückt bis der Löffel überall auf der Grundplatte aufsaß. Nach fünf Minuten wurde das Optosil ruckartig vom Modell abgelöst. Hier-nach wurden an den Längsseiten des Abdrucknegatives je drei Abflußrinnen mit dem Skalpell eingeschnitten.

Jetzt wurde Xantopren blau mit dem Härter auf einem Mischblock 30 s gemischt und in das Abdrucknegativ

hineingestrichen und sofort auf das Modell gedrückt, bis der Löffel ebenfalls ringsum auf der Basisplatte aufsaß. Weitere fünf Minuten später wurde der Abdruck ruckartig vom Modell genommen und sofort vermessen.

Die Ergebnisse von 20 Versuchen sind in Tab. 4 zusammengefaßt.

1. 39.685 mm	11. 39.690 mm
2. 39.685 mm	12. 39.685 mm
3. 39.685 mm	13. 39.685 mm
4. 39.680 mm	14. 39.680 mm
5. 39.685 mm	15. 39.680 mm
6. 39.685 mm	16. 39.685 mm
7. 39.680 mm	17. 39.690 mm
8. 39.685 mm	18. 39.680 mm
9. 39.685 mm	19. 39.680 mm
10. 39.680 mm	20. 39.685 mm

Tab. 4 Länge des Abformnegatives, gemessen sofort nach der Abnahme vom Ursprungsmodell.

Gemessen wurde der Abstand der Auslaufpunkte der beiden Kerben auf dem Abdruck. Der Abstand auf dem Ursprungsmodell beträgt 39.685 mm. Somit ergibt sich eine lineare Abweichung zwischen Abdruck und Ursprungsmodell im Mittel von nur $-0,0006\% \pm 0,0050\%$.

Der Versuch, den Abdruck in 35 °C warmer Kochsalzlösung vorzunehmen, um den tatsächlichen Gegebenheiten in der Mundhöhle Rechnung zu tragen, scheiterte an einer ungenauen Abformung der Meßpunkte. An den Auslaufpunkten der Meßkerben waren meist Luftbläschen im Abdruck, so daß eine Vermessung nicht möglich war.

Sämtliche Abdrücke in den Hauptversuchen wurden mit Materialien der vorgenannten Chargennummer, in den vorgenannten Mischungsverhältnissen und Zeiten genommen.

2. Modellwerkstoffe

2.1. Spezialhartgipse

Bei den Vorversuchen mit Spezialhartgipsen stellte sich heraus, daß nur dann einwandfreie Ergebnisse erzielt werden, wenn der Gipsbrei auf einer Rüttelplatte in das Abdrucknegativ gebracht wird. Um immer die gleichen Bedingungen zu haben, wurde auch bei den Modellen, die im Metallspritzverfahren hergestellt wurden, der Spezialhartgips auf der Rüttelplatte in das Negativ eingebracht. Die Gipse wurden alle nach den vom Hersteller angegebenen Mischungsverhältnissen angerührt.

Hierbei wurden jeweils 10 s eingestreut,
20 s gesumpft,
60 s mit dem Spatel oder
mit dem Vakuumgerät
gemischt.

Dann wurde der Gips sofort auf der Rüttelplatte in die Hohlform gebracht. Bei den Vorversuchen stellte sich ferner heraus, daß alle verwendeten Spezialhartgipse nach einer halben Stunde ausreichend hart waren, um sie vom Abformmaterial zu lösen und zu vermessen.

2.2. Kunststoffe

Die Modellkunststoffe wurden gemäß den Angaben des Herstellers gemischt. Es zeigte sich, daß der Teig zu zäh war, um ihn auf der Rüttelplatte in die Hohlform einfließen zu lassen. Er läßt sich am besten in die Hohlform mit einem Spatel einstreichen. Nach dem Füllen der Hohlform ist es nötig, den Löffel einige Male leicht auf eine Tischplatte zu schlagen, da sonst nicht alle Ecken und Kanten auslaufen.

Nach zehn Minuten wurden zwei Retentionsringe in den Kunststoff gedrückt. Danach wurde ein normaler Hartgips Typ III im Verhältnis 30:100 (ccm Wasser:g Gipspulver) in die Sockelform gebracht und der Abformlöffel aufgesetzt. Eine Stunde nach dem Einstreichen des Kunststoffbreies in die Hohlform zeigte der Kunststoff eine ausreichende Härte, um ihn vom Abformmaterial zu lösen und zu vermessen.

2.3. Metallspritzverfahren

Es wurde das Metallspritzverfahren der Firma Ivoclar mit dem Metallomat-Gerät verwendet.

Bei den ersten Versuchen mit diesem Gerät zeigte sich, daß man etwa aus einer Entfernung von 3 cm das Abformmaterial besprühen muß. Geht man zu dicht an den Abdruck, sprüht man unkontrollierbar große Metalltropfen auf das Abformmaterial, und es entsteht eine Schicht mit sehr unterschiedlicher Dicke. Geht man zu weit weg, erkaltet das Metall zu schnell, und es entsteht keine einheitliche Schicht. Außerdem geht bei zu großer Entfernung sehr viel von der Legierung verloren, da der Sprühstrahl stark divergiert.

Um die Auswirkung der Metallschichtdicke auf die Dimensionsänderung gegenüber dem Ursprungsmodell festzustellen, wurde der Abdruck verschieden lang besprüht - zuerst mit 15 s und dann mit 5 s Dauer -.

Wie die Ergebnisse in Tab. 5 und 6 zeigen, ist es auch bei sehr genauem Arbeiten schwierig, eine gleichmäßige Schicht aufzusprühen. Gemessen wurde nur die Fläche, auf der sich die beiden Meßkerben befinden. Die Schichtstärke auf den senkrechten Flächen waren nicht zu messen. Es waren bei 5 s Sprühdauer nur vereinzelt Metallpartikel auf der Oberfläche auszumachen. Bei 15 s Sprühdauer betrug die Schichtdicke zwischen 0,03 und 0,15 mm. Sie war jedoch so unregelmäßig, daß keine genauere Aussage gemacht werden kann.

Tab. 5

Schichtdicke der Metallschicht an einem Modell nach 15 s Sprühzeit bei Verwendung des Metallspritzverfahrens:

Einschließlich

$\bar{x}$ = Mittelwert und

s = Standardabweichung

1.	0.430 mm
2.	0.450 mm
3.	0.435 mm
4.	0.440 mm
5.	0.430 mm
6.	0.430 mm
7.	0.435 mm
8.	0.425 mm
9.	0.450 mm
10.	0.435 mm
$\bar{x}$	= 0.434 mm
s	= 0.007 mm

Tab. 6

Schichtdicke der Metallschicht an einem Modell nach 5 s Sprühzeit bei Verwendung des Metallspritzverfahrens:

Einschließlich

$\bar{x}$ = Mittelwert und

s = Standardabweichung

1.	0.120 mm
2.	0.125 mm
3.	0.130 mm
4.	0.115 mm
5.	0.115 mm
6.	0.125 mm
7.	0.120 mm
8.	0.120 mm
9.	0.115 mm
10.	0.130 mm
$\bar{x}$	= 0.122 mm
s	= 0.006 mm

2.2.3. Hauptversuche

1. Allgemeines

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, das Dimensionsverhalten von Modellwerkstoffen zu prüfen.

Aus der Vielzahl der zur Verfügung stehenden Hartgipse wurden folgende für die Versuche verwendet:

1. Moldano (Fa. Bayer)
2. Moldaroc (Fa. Bayer)
3. Residur (Fa. Renfert)
4. Tewedur (Fa. Kettenbach)
5. Tewestone (Fa. Kettenbach)

Die Untersuchungen fanden alle in einem klimatisierten Raum unter den gleichen Bedingungen wie unter 2.2.2. beschrieben statt. Hierbei wurde für jedes Modell ein neuer Abdruck hergestellt.

Es wurden folgende Geräte benutzt:

1. zum Vermessen der Modelle ein Meßmikroskop der Firma Carl Zeiss Nr. 29363 in Verbindung mit einer Meßbank der Firma Carl Zeiss Nr. 354478,
2. ein Vakuumgerät der Firma Degussa Typ R 11,
3. für das Metallspritzverfahren ein Metallomat der Firma Ivoclar,
4. eine Rüttelplatte - altes Modell - Plattengröße 23/13 cm.

Jede der folgenden Versuchsreihen bestand aus 10 Einzelversuchen.

2. Versuchsreihe ohne Vakuumgerät

In der ersten Versuchsreihe wurde der Gips entsprechend den Angaben der Herstellerfirma mit Wasser angemischt. Das Gipspulver wurde 10 s eingestreut 20 s gesumpft und anschließend 60 s mit einem Spatel intensiv durchgemischt. Danach wurde der Gipsbrei auf einer Rüttelplatte in das Abdrucknegativ gebracht. Der Abdruck wurde bei allen Versuchen, wie unter 2.2.2.1. beschrieben, hergestellt. Fünf Minuten nach Abnahme des Abdrucks wurde der untersuchte Modellwerkstoff in das Abformnegativ eingebracht. In den Gipsbrei wurden nach weiteren fünf Minuten Retentionsringe eingelassen. Nach weiteren 15 Minuten wurde Hartgips Typ III im Verhältnis 30 ccm Wasser zu 100 g Gipspulver angemischt und in die Sockelform eingestrichen. Das Abdruckmodell mit dem darin befindlichen Spezialhartgips wurde aufgesetzt, nach 30 Minuten von der Abdruckform entfernt und sofort zum erstenmal vermessen.

Da die Versuche klären sollen, wann der günstigste Zeitpunkt ist, um auf dem Arbeitsmodell den Zahnersatz anzufertigen, d.h. die geringste Abweichung vom Arbeitsmodell zum Ursprungsmodell vorhanden ist, wurden die Modelle nach unterschiedlichen Zeiten sofort nach Abziehen des Abdrucks bis zu zwei Wochen danach gemessen.

Es stellt sich die Frage, ob das Arbeitsmodell sofort nach dem Erhärten oder erst nach Tagen oder Wochen zur Herstellung des Zahnersatzes benutzt werden soll. Aus diesem Grund wurde nach folgendem Zeitplan

gemessen:

1. Messung : sofort nach dem Abziehen des Abdrucks
2. Messung : 1 Stunde nach dem Abziehen des Abdrucks
3. Messung : 2 Stunden nach dem Abziehen des Abdrucks
4. Messung : 2 Stunden nach dem Abziehen des Abdrucks
5. Messung : 24 Stunden nach dem Abziehen des Abdrucks
6. Messung : 48 Stunden nach dem Abziehen des Abdrucks
7. Messung : 2 Wochen nach dem Abziehen des Abdrucks

Für die Versuchsreihe wurden die Abdrücke mit den unter 2.2.2.1. aufgeführten Materialien und wie dort beschrieben durchgeführt.

Material	Chargen-Nr.	Menge
Moldano	S 15070	50 g
+Wasser	---	15 ccm
Tewestone	389	100 g
+Wasser	---	15 ccm
Residur	Nr. 1778	100 g
+Wasser	---	22 ccm
Moldaroc	2524 K	55 g
+Wasser	---	15 ccm

Tab. 7 Chargennummern und Mischungsverhältnisse der hier untersuchten extraharten Hartgipse (Typ IV nach DIN 13 911)

Die Ergebnisse zeigen die Tabellen 8, 9, 10 und 11.

Dabei bedeuten:

$\bar{x}$ = Mittelwert (lineare Abweichung vom Ursprungsmodell)

s = Standardabweichung

v = Variationskoeffizient

n = 10 (Anzahl der Versuche)

Zeitpunkt der Messung nach dem Ausbetten	$\bar{x}$ (%)	s (%)	$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \%$ (%)
sofort	0,134	0,014	10,49
1 Stunde	0,157	0,017	11,03
2 Stunden	0,162	0,017	10,65
24 Stunden	0,196	0,022	11,43
48 Stunden	0,189	0,027	14,02
1 Woche	0,171	0,022	13,11
2 Wochen	0,171	0,022	13,11

Tab. 8 Expansion von Moldano ohne Vakuum gemischt

Zeitpunkt der Messung nach dem Ausbetten	$\bar{x}$ (%)	s (%)	$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \%$ (%)
sofort	0,070	0,046	65,52
1 Stunde	0,088	0,054	61,11
2 Stunden	0,092	0,053	57,75
24 Stunden	0,096	0,052	54,28
48 Stunden	0,097	0,048	49,48
1 Woche	0,086	0,047	54,73
2 Wochen	0,086	0,047	54,73

Tab. 9 Expansion von Tewestone ohne Vakuum gemischt

Zeitpunkt der Messung nach dem Ausbetten	$\bar{x}$ (%)	s (%)	$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \%$ (%)
sofort	0,116	0,051	44,00
1 Stunde	0,135	0,048	35,66
2 Stunden	0,141	0,044	30,90
24 Stunden	0,129	0,040	31,13
48 Stunden	0,129	0,043	33,07
1 Woche	0,113	0,044	38,45
2 Wochen	0,113	0,044	38,45

Tab. 10 Expansion von Residur ohne Vakuum gemischt

Zeitpunkt der Messung nach dem Ausbetten	$\bar{x}$ (%)	s (%)	$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \%$ (%)
sofort	0,248	0,010	4,03
1 Stunde	0,251	0,010	3,99
2 Stunden	0,253	0,010	3,95
24 Stunden	0,267	0,014	5,29
48 Stunden	0,268	0,017	6,46
1 Woche	0,250	0,017	6,93
2 Wochen	0,250	0,017	6,93

Tab. 11 Expansion von Moldaroc ohne Vakuum gemischt

Wie die Ergebnisse zeigen, weicht das Modell von Tewestone am geringsten (im Mittel 0,09 % linear), das Modell aus Moldaroc am meisten (im Mittel 0,25 % linear) vom Ursprungsmodell ab.

Auffallend ist jedoch die geringe Standardabweichung bei Moldaroc und die sehr große Standardabweichung bei Tewestone. Die größte Streuung aller gemessenen Abweichungen vom Ursprungsmodell zeigt die Abbildung 4 für den Spezialhartgips Residur.

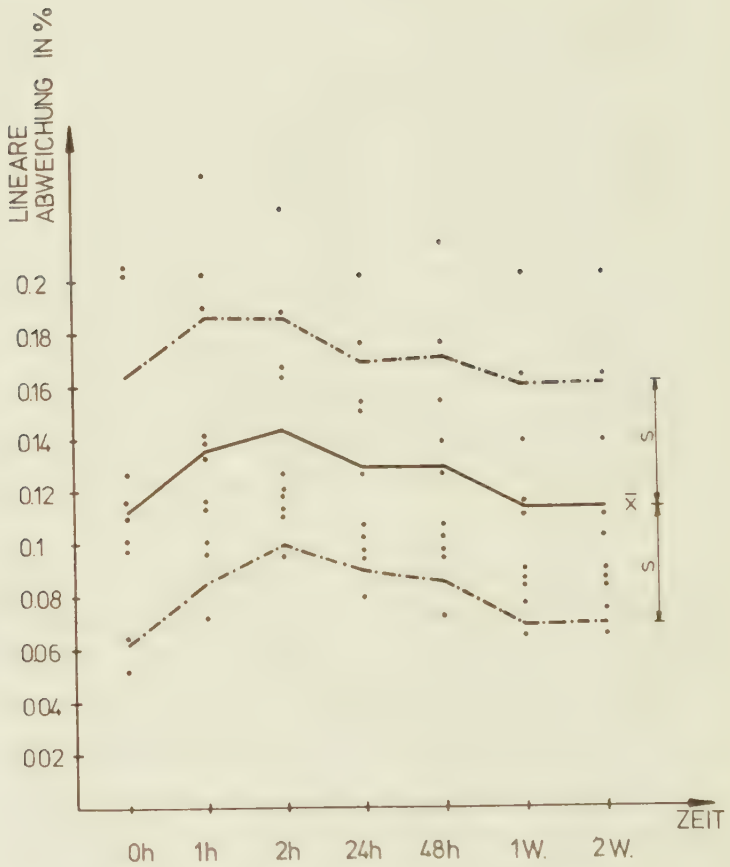


Abb. 4

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG DER 10 RESIDURMODELLE OHNE VAKUUM ANGEMISCHT. EINSCHLIESSLICH ALLER GEMESSENEN LINEAREN ABWEICHUNGEN VOM URSPRUNGSMODELL.

3. Versuche mit Spezialhartgipsen unter Vakuum angemischt

In den meisten zahntechnischen Laboratorien wird Spezialhartgips mit Hilfe eines Vakuumgerätes angemischt. Es soll dessen Einfluß auf die Dimensionstreue untersucht werden. Aus diesem Grunde wurde für diese Versuchsreihe der Modellwerkstoff mit der größten und mit der geringsten linearen Abweichung aus dem vorangegangenen Versuch herangezogen. Hinzu kam der Werkstoff Tewedur.

Der Versuch wurde in der gleichen Reihenfolge wie zuvor beschrieben durchgeführt. Anstelle des 60 s dauernden Mischens von Hand wurde der Gipsbrei in diesem Versuch mit Hilfe eines Vakuumgerätes angemischt.

Materialien der 2. Versuchsreihe

Die Abdrücke wurden wie unter 2.2.2.1. beschrieben vorgenommen.

Material	Chargen Nr.	Menge
Tewestone	389	100 g
+Wasser	---	15 ccm
Moldaroc	2525 K	55 g
+Wasser	---	15 ccm
Tewedur	844	50 g
+Wasser	---	15 ccm

Tab. 12 Chargennummer und Mischungsverhältnisse der
2. Versuchsreihe der drei extraharten Hartgipse
(Typ IV nach DIN 13 911)

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe zeigen die Tabellen 13, 14 und 15.

Zeitpunkt der Messung nach dem Ausbetten	$\bar{x}$ (%)	s (%)	v (%)
sofort	0,125	0,039	31,01
1 Stunde	0,174	0,014	8,11
2 Stunden	0,180	0,014	7,82
24 Stunden	0,181	0,014	7,77
48 Stunden	0,181	0,014	7,77
1 Woche	0,165	0,010	6,06
2 Wochen	0,165	0,010	6,06

Tab. 13 Expansion von Moldaroc. Angemischt mit Hilfe eines Vakuumgerätes.

Zeitpunkt der Messung nach dem Ausbetten	$\bar{x}$ (%)	s (%)	v (%)
sofort	0,115	0,035	30,17
1 Stunde	0,145	0,014	9,73
2 Stunden	0,154	0,017	11,26
24 Stunden	0,166	0,020	12,03
48 Stunden	0,166	0,020	12,03
1 Woche	0,152	0,020	13,14
2 Wochen	0,152	0,020	13,14

Tab. 14 Expansion von Tewedur. Angemischt mit Hilfe eines Vakuumgerätes

Zeitpunct der Messung nach dem Ausbetten	$\bar{x}$ (%)	s (%)	v (%)
sofort	0,060	0,017	28,83
1 Stunde	0,073	0,017	23,57
2 Stunden	0,076	0,017	22,79
24 Stunden	0,077	0,017	22,41
48 Stunden	0,075	0,017	23,13
1 Woche	0,068	0,014	20,67
2 Wochen	0,068	0,014	20,67

Tab. 15 Expansion von Twestone. Angemischt mit Hilfe
eines Vakuumgerätes

Im Vergleich zu der 1. Versuchsreihe zeigen die Ergebnisse, daß Moldaroc eine erheblich günstigere lineare Abweichung hat (0,08 % linear weniger).

Twestone liegt nur um ca. 0,02 % lineare Abweichung günstiger als in der 1. Versuchsreihe. Jedoch ist die Standardabweichung bei Twestone unter Vakuum angemischt erheblich kleiner geworden. Twestone liegt in der linearen Abweichung vom Ursprungsmodell zwischen Moldaroc und Twestone.

4. Versuch mit Hilfe des Metallspritzverfahrens

Da in der Literatur keine Untersuchungsergebnisse über das Metallspritzverfahren vorliegen, soll in den

nächsten Versuchen dessen Einfluß auf das Dimensionsverhalten geprüft werden. Zu diesem Zweck wurden aus der vorangegangenen Versuchsreihe die Werkstoffe Moldaroc und Tewestone herangezogen.

4.1. Versuche mit einer Sprühzeit von 15 s

Auch bei dieser Versuchsreihe wurden die Bedingungen gleichgehalten.

Der Abdruck erfolgte wie bereits unter 2.2.2.1. beschrieben. Nach Abnahme des Abdruckes vom Ursprungsmodell wurde der Abdruck sofort im Metallomat 15 s lang mit der Wismut-Zinn-Legierung so gleichmäßig wie möglich aus einer Entfernung von ca. 3 cm besprüht. Danach wurde der Versuch wie unter 2.2.3.3. beschrieben durchgeführt und nach dem Erhärten des Gipses vermessen. Das Ergebnis zeigen die Tabellen 17 und 18.

Materialien der 3. und 4. Versuchsreihe

Material	Chargen Nr.	Menge
Wismut-Zinn-Legierung der Fa. Ivoclar	---	--
Tewestone	389	100 g
Wasser	---	15 ccm
Moldaroc	2524 K	55 g
Wasser	---	15 ccm

Tab. 16 Chargennummer und Mischungsverhältnisse der
3. und 4. Versuchsreihe mit Spezialhartgipsen
(Typ IV nach DIN 13 911)

Zeitpunkt der Messung nach dem Ausbetten	$\bar{x}$ (%)	s (%)	v (%)
sofort	0,295	0,037	12,69
1 Stunde	0,305	0,040	13,12
2 Stunden	0,315	0,041	13,08
24 Stunden	0,321	0,030	9,34
48 Stunden	0,321	0,030	9,34
1 Woche	0,321	0,030	9,34
2 Wochen	0,321	0,030	9,34

Tab. 17 Expansion eines Modells mit einer Sprühmetallschicht
(Sprühdauer 15 s) aus Moldaroc unter Vakuum gemischt.

Zeitpunkt der Messung nach dem Abziehen des Abdruckes	$\bar{x}$ (%)	s (%)	v (%)
sofort	0,289	0,027	9,19
1 Stunde	0,299	0,030	10,05
2 Stunden	0,297	0,027	8,91
24 Stunden	0,296	0,027	8,95
48 Stunden	0,296	0,027	8,95
1 Woche	0,296	0,027	8,95
2 Wochen	0,296	0,027	8,95

Tab. 18 Expansion eines Modells mit einer Sprühmetallschicht
(Spritzdauer 15 s) aus Tewestone unter Vakuum gemischt.

Wie die Tabellen zeigen, ist die Abweichung der Arbeitsmodelle vom Ursprungsmodell bei Metallisierung mit Hilfe des Metallspritzverfahrens erheblich größer als bei den Arbeitsmodellen der Versuchsreihe 2.2.3.3. Bei Moldaroc wird die Abweichung vom Ursprungsmodell um ca. 0,17 % linear größer als bei den Arbeitsmodellen, die nicht mit dem Metallspritzverfahren behandelt wurden. Bei Tewestone wird die Abweichung sogar um ca. 0,22 % linear größer.

4.2. Versuche mit einer Sprühzeit von 5 s

Um zu sehen, welchen Einfluß die Dauer der Sprühzeit auf die Dimensionstreue hat, wurde bei der folgenden Versuchsreihe mit einer Sprühzeit von 5 s im Metalomat gearbeitet. Ansonsten wurde der Versuch wie unter 2.2.3.4.1. beschrieben durchgeführt.

Es wurde nur der Modellwerkstoff Tewestone untersucht, da es ausreichend erscheint, die generelle Tendenz der Sprühzeit und damit der Dicke der Metallschicht auf die Dimensionstreue zu erkennen.

Das Ergebnis zeigt Tabelle 19.

Zeitpunkt der Messung nach dem Abziehen des Abdruckes	$\bar{x}$ (%)	s (%)	v (%)
sofort	0,197	0,022	11,39
1 Stunde	0,210	0,025	11,64
2 Stunden	0,213	0,032	14,84
24 Stunden	0,212	0,033	15,68
48 Stunden	0,212	0,033	15,68
1 Woche	0,207	0,035	16,75

Tab. 19 Expansion eines Modells mit einer Sprühmetallschicht
(Spritzdauer 5 s) aus Tewestone unter Vakuum gemischt.

Durch die Verkürzung der Sprühzeit ist die Abweichung des Arbeitsmodells vom Ursprungsmodell zwar etwas geringer als bei einer Sprühzeit von 15 s (etwa 0,09 % linear), jedoch noch erheblich größer, als bei Verzicht auf das Metallspritzverfahren (etwa 0,135 % linear).

Eine Zusammenstellung aller vier Versuche zeigen Abbildung 5 und 6. Hier sind alle Mittelwerte und Standardabweichungen direkt nach dem Abziehen des Abdruckes und nach 48 Stunden als Säulendiagramme dargestellt.

Es zeigt sich, daß die geringste lineare Abweichung vom Ursprungsmodell bei der Versuchsreihe ent-

steht, bei der der Modellwerkstoff unter Vakuum angemischt wurde. Die geringste Abweichung zeigt der Modellwerkstoff Tewestone mit ca. 0,07 % linearer Abweichung. Die Abbildung 7 stellt die Mittelwerte aller vier Versuchsreihen zu den verschiedenen Meßzeiten dar.

Auffallend ist, daß bei den ersten zwei Versuchsreihen die lineare Abweichung vom Ursprungsmodell bei allen Modellen bis zum zweiten Tag zunimmt und dann wieder leicht abfällt. Eine Ausnahme bildet der Werkstoff Residur. Er erreicht bereits nach zwei Stunden seine größte Expansion und geht dann bereits wieder in eine Kontraktion über.

Anders sieht es bei den Arbeitsmodellen aus, die mit dem Metallspritzverfahren behandelt wurden. Diese Arbeitsmodelle haben bereits nach einem Tag ihre größte Expansion erreicht. Außerdem bleibt die Dimension von diesem Zeitpunkt an im Gegensatz zu den unbehandelten Modellen nahezu gleich.

Einen Überblick über die Dimensionstreue unter den unterschiedlichen Versuchsbedingungen zeigen die Abbildung 8 für Tewestone und die Abbildung 9 für Moldaroc.

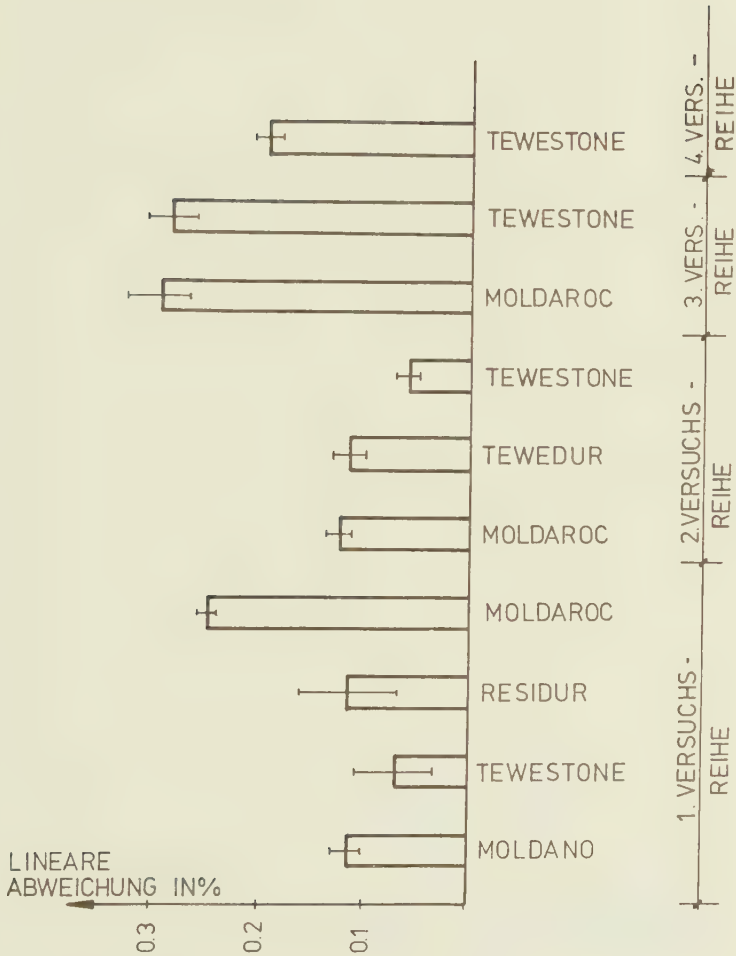


Abb. 5

MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNG
DER SPEZIALHARTGIPSE.
GEMESSEN SOFORT NACH DEM ABZIEHEN
DES ABRUCKS

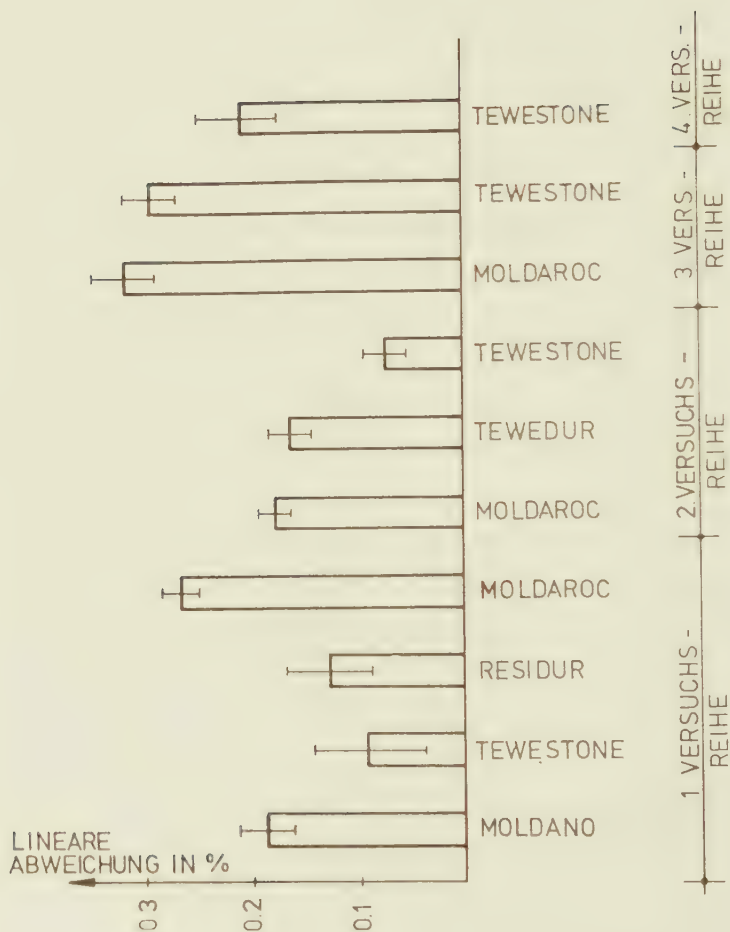


Abb. 6

MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNG
DER SPEZIALHARTGIPSE.
GEMESSEN 2 TAGE NACH DEM ABZIEHEN
DES ABDRUCKS

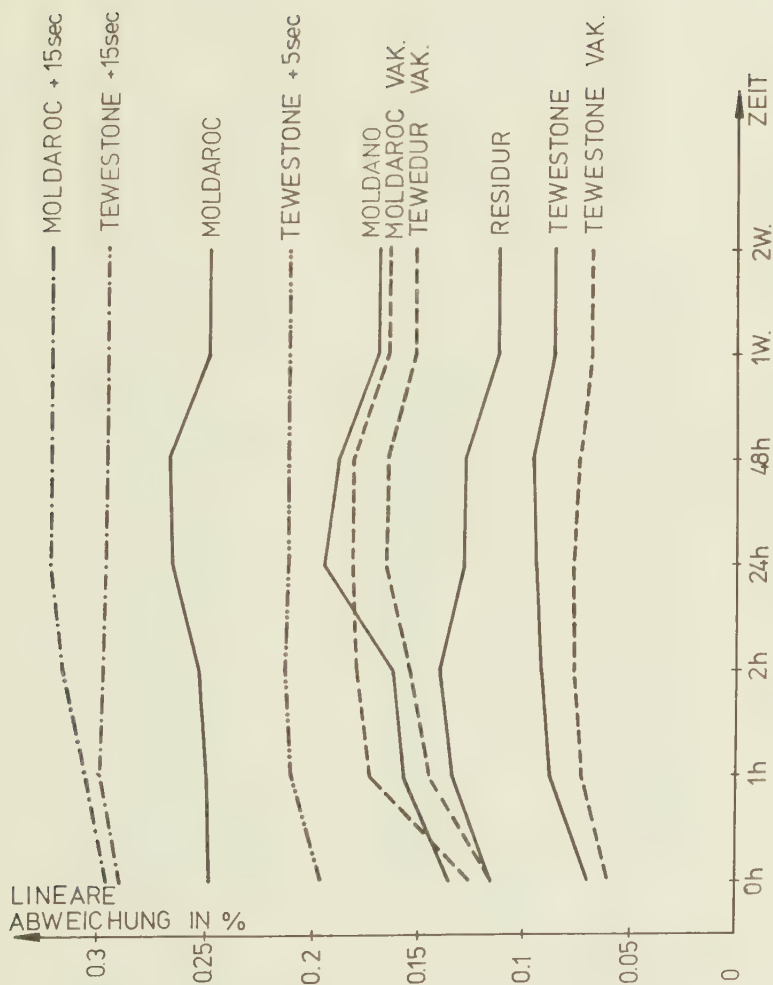


Abb. 7

SPEZIALHARTGIPSE :

MITTELWERTE ALLER VIER VERSUCHSREIHEN
IM ÜBERBLICK.

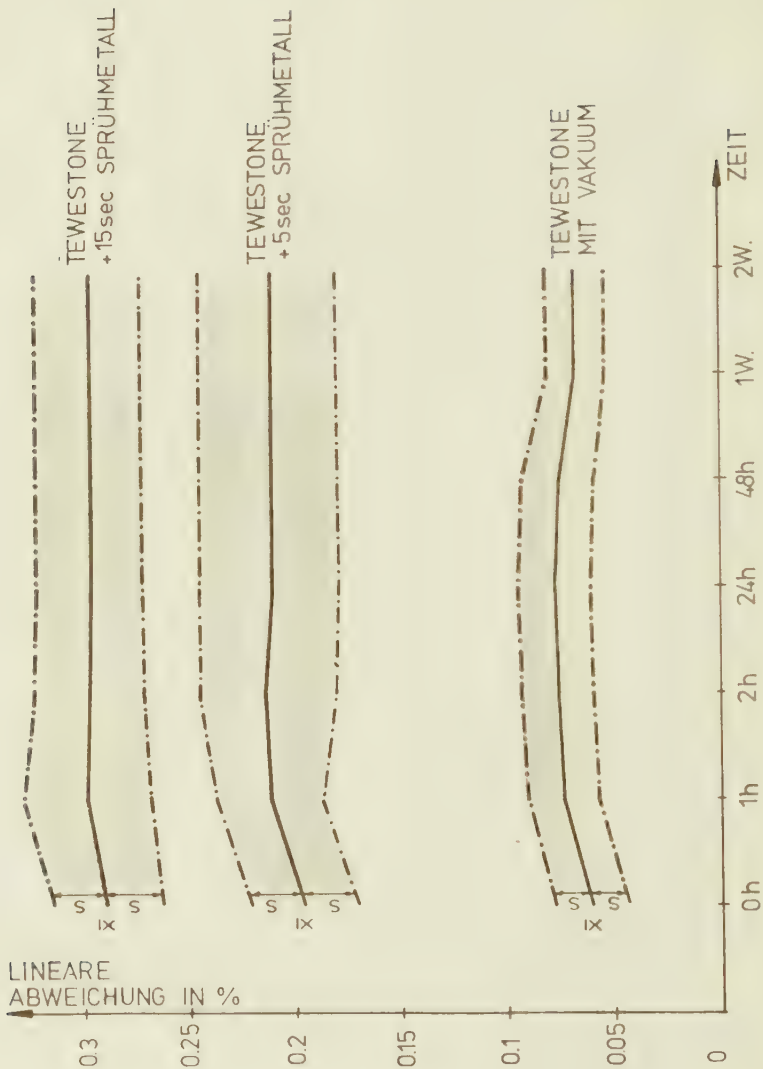


Abb. 8

MITTELWERTE UND STANDARDABEICHUNGEN
DES WERKSTOFFES TEWESTONE BEI DEN
VERSUCHSREIHEN 2,3 UND 4.

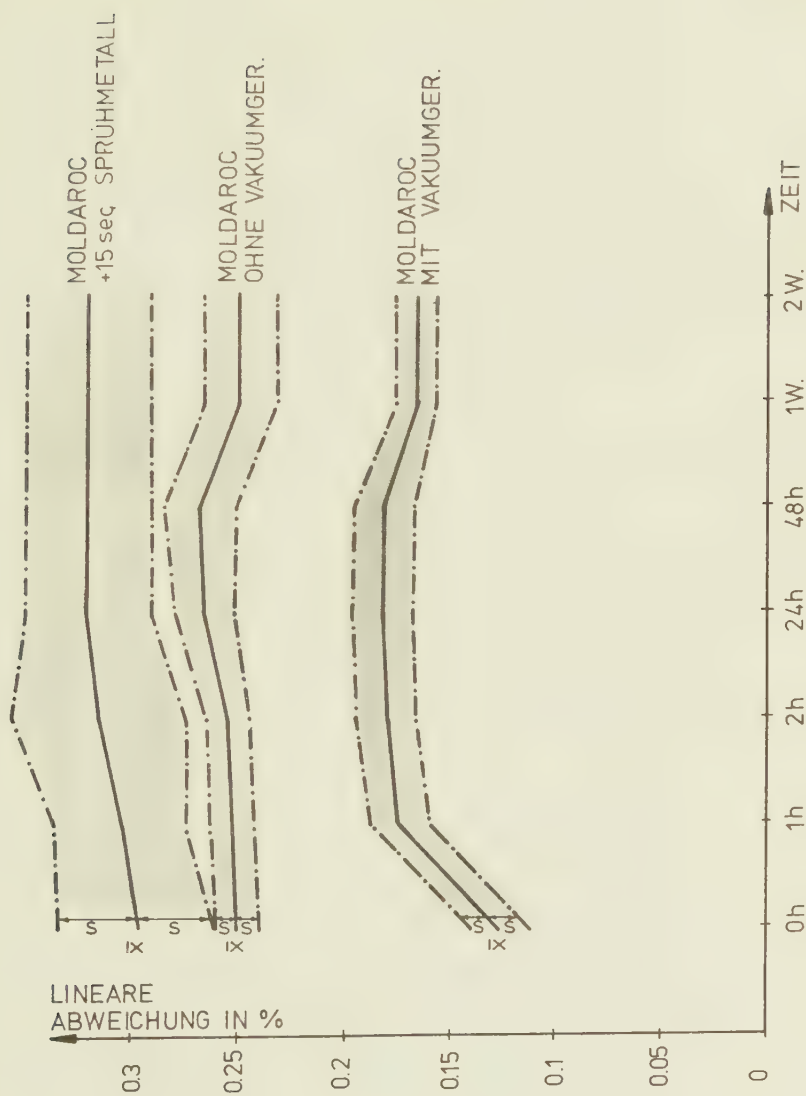


Abb. 9

MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN
DES WERKSTOFFES MOLDAROC BEI DEN
VERSUCHSREIHEN 1, 2 UND 3.

5. Versuche mit Kunststoffen ohne Metallspritzverfahren

Um einen Gesamtüberblick über die Dimensionstreue von Modellwerkstoffen zu erhalten, sind auch Kunststoffe untersucht worden. Von der Vielzahl der auf dem Markt befindlichen Kunststoffe wurden zwei ausgewählt:

1. Metalloplast von der Firma Ivoclar
(die Firma empfiehlt diesen Kunststoff in Verbindung mit ihrem Metallspritzverfahren)
2. Cp 15 von der Firma Renfert

Der ursprünglich mitausgewählte Werkstoff Begolith, der als Zweikomponenten-Werkstoff angepriesen wird, mußte ausscheiden. Bei den Messungen stellte sich heraus, daß es sich bei diesem Werkstoff um einen Hartgips handelt. Anstelle der gelieferten Flüssigkeit erhärtet Begolith ebenso mit Wasser.

Die Abdrucknahme vom Ursprungsmodell erfolgte in gleicher Weise wie bei den Versuchen mit den Werkstoffen aus Spezialhartgips.

Der Kunststoff wurde gemäß den Angaben des Herstellers wie unter 2.2.2.2.2. beschrieben angemischt, in den Abdruck eingebracht und nach dem Erhärten vermessen.

Die Versuche gliedern sich in drei Versuchsserien. In der ersten Serie wurde der Kunststoff direkt in den Abdruck eingebracht.

In der zweiten Serie wurde der Abdruck 15 s im Metal-lomat mit der Wismut-Zinn-Legierung ausgesprüht. In der dritten Serie betrug die Sprühdauer nur 5 s.

Direkt danach wurde der Abdruck wie im ersten Abschnitt mit Kunststoff ausgestrichen, nach 5 min Retentionsringe gesetzt und nach weiteren 10 min auf einem Hartgips Typ III gesockelt. Nach dem Erhärten erfolgte das Vermessen der Modelle.

Es wurde nach den gleichen Zeiten wie unter 2.2.3.2. beschriebenen gemessen.

Zur Verwendung kamen folgende Materialien:

Material	Chargen Nr.	Menge
Cp 15 Flüssigkeit	390-1000	4 g
Pulver		6 g
Metalloplast		
Flüssigkeit	7933	6 g
Pulver	1407	6 g

Tab. 20 Chargennummer und Mischungsverhältnisse der Versuchsreihen 5, 6 und 7 mit Kunststoffen.

Die Abdruckmaterialien waren dieselben wie in den vorangegangenen Versuchen, ebenso die entsprechenden Mischungsverhältnisse (5.2.2.2.1.) Die Ergebnisse zeigen die Tabellen 21- 26 und sind in den Abb. 10 und 11 dargestellt.

Zeitpunkt der Messung nach dem Ausbetten	$\bar{x}$ (%)	s (%)	v (%)
sofort	- 0,200	0,082	40,89
1 Stunde	- 0,239	0,076	31,83
2 Stunden	- 0,252	0,075	29,66
24 Stunden	- 0,270	0,074	27,26
48 Stunden	- 0,268	0,076	28,39
1 Woche	- 0,281	0,074	26,41
2 Wochen	- 0,281	0,074	26,41

Tab. 21 Kontraktion eines Modells ohne Sprühmetallschicht aus Metalloplast.

Zeitpunkt der Messung nach dem Ausbetten	$\bar{x}$ (%)	s (%)	v (%)
sofort	- 0,046	0,028	61,26
1 Stunde	- 0,078	0,032	40,31
2 Stunden	- 0,092	0,033	35,93
24 Stunden	- 0,110	0,042	38,69
48 Stunden	- 0,115	0,049	42,51
1 Woche	- 0,116	0,047	40,36
2 Wochen	- 0,116	0,047	40,36

Tab. 22 Kontraktion eines Modells ohne Sprühmetallschicht aus Sp 15.

6. Versuche mit Kunststoffen mit dem Metallspritzverfahren

1. 15 s Sprühdauer

Zeitpunkt der Messung nach dem Ausbetten	$\bar{x}$ (%)	s (%)	v (%)
sofort	0,108	0,049	45,46
1 Stunde	0,077	0,042	55,07
2 Stunden	0,059	0,040	68,03
24 Stunden	0,046	0,039	83,77
48 Stunden	0,045	0,036	80,58
1 Woche	0,045	0,036	80,58
2 Wochen	0,045	0,036	80,58

Tab. 23 Expansion eines Modells mit einer Sprühmetallschicht (Spritzdauer 15 s) am Werkstoff Metalloplast unter Vakuum gemischt.

Zeitpunkt der Messung nach dem Ausbetten	$\bar{x}$ (%)	s (%)	v (%)
sofort	0,235	0,030	12,76
1 Stunde	0,202	0,030	14,88
2 Stunden	0,172	0,025	14,23
24 Stunden	0,149	0,023	15,02
48 Stunden	0,145	0,025	16,91
1 Woche	0,145	0,025	16,91
2 Wochen	0,145	0,025	16,91

Tab. 24 Expansion eines Modells mit einer Sprühmetallschicht (Spritzdauer 15 s) am Werkstoff Cp 15 unter Vakuum gemischt.

6. Versuche mit Kunststoffen mit dem Metall- spritzverfahren

2. 5 s Sprühdauer

Zeitpunkt der Messung nach dem Ausbetten	$\bar{x}$ (%)	s (%)	v (%)
sofort	+ 0,037	0,046	125,48
1 Stunde	+ 0,011	0,048	424,78
2 Stunden	- 0,004	0,046	1205,26
24 Stunden	- 0,015	0,051	337,75
48 Stunden	- 0,019	0,050	264,55
1 Woche	- 0,019	0,050	264,55
2 Wochen	- 0,019	0,050	264,55

Tab. 25 Expansion eines Modells mit einer Sprühmetallschicht
(Sprühdauer 5 s) am Werkstoff Metalloplast unter
Vakuum gemischt.

Zeitpunkt der Messung nach dem Ausbetten	$\bar{x}$ (%)	s (%)	v (%)
sofort	+ 0,111	0,033	29,86
1 Stunde	+ 0,061	0,045	73,40
2 Stunden	+ 0,034	0,028	83,63
24 Stunden	+ 0,006	0,038	593,65
48 Stunden	+ 0,002	0,039	1842,86
1 Woche	- 0,004	0,039	921,43
2 Wochen	- 0,004	0,039	921,43

Tab. 26 Expansion eines Modells mit einer Sprühmetallschicht
(Sprühdauer 5 s) am Werkstoff Cp 15 unter Vakuum ge-
mischt.

Auf den ersten Blick erkennt man, daß die Modelle, die nicht im Metallomat behandelt wurden, die größte Kontraktion aufweisen.

Metalloplast ca. 0,25 % linear

Cp 15 ca. 0,1 % linear

Die Kontraktion ist erst nach etwa einer Woche beendet.

Bei den Modellen, die im Metallomat behandelt wurden, ist die Kontraktion bereits nach etwa einem Tag beendet, und das Modell bleibt danach nahezu konstant.

Die geringste Abweichung der Mittelwerte vom Ursprungsmodell weisen die Modelle auf, die 5 s im Metallomat besprüht wurden. Jedoch zeigen die Versuche eine sehr große Standardabweichung.

Auffallend ist, daß Metalloplast bis ca. zwei Stunden nach dem Erhärten eine Expansion, danach eine geringe Kontraktion gegenüber dem Ursprungsmodell aufweist.

Cp 15 expandiert sogar bis zum zweiten Tag und kontrahiert erst danach.

Bei einer 15 s dauernden Sprühzeit weisen beide Werkstoffe eine bis zum ersten Tag fallende und dann konstant bleibende positive Abweichung vom Ursprungsmodell auf.

Die unterschiedliche lineare Abweichung nach einem Tag unter den verschiedenen Versuchsbedingungen zeigt Abbildung 10 in einem Säulendiagramm.

Die Mittelwerte der linearen Abweichung in % vom Ursprungsmodell sind in Abbildung 11 zusammengefaßt.

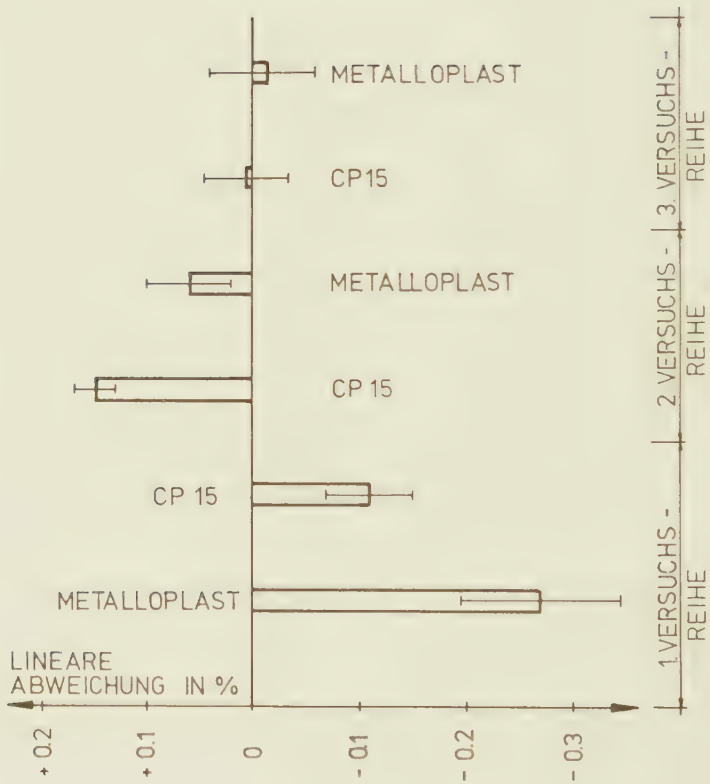


Abb. 10

MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN
DER KUNSTSTOFFE.
GEMESSEN EINEN TAG NACH DEM ABZIEHEN
DES ABDRUCKS

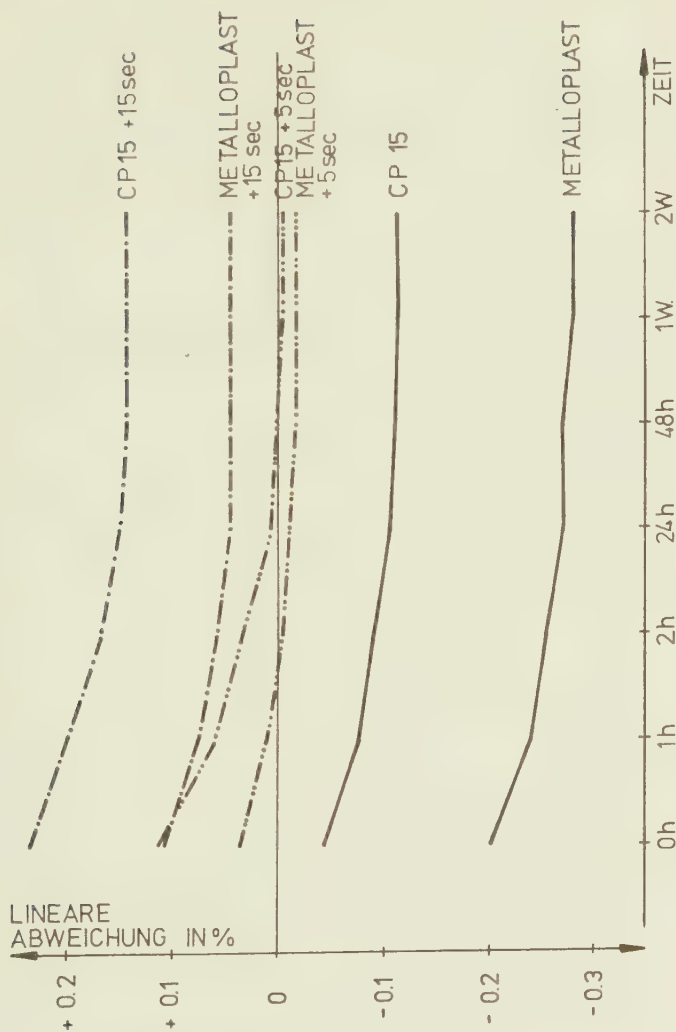


Abb. 11

KUNSTSTOFFE:

MITTELWERTE ALLER DREI VERSUCHSREIHEN
IM ÜBERBLICK.

2.3. Diskussion

2.3.1. Eigene Meßmethodik - übrige Meßmethoden

1. Urmodell

Bis auf zwei Untersuchungen wurden alle Versuche zur Dimensionsänderung von Gips an u- oder v-förmigen Trögen, an Metall- oder Holzformen, oder an Zylindern aus den verschiedensten Materialien durchgeführt. Diese Arbeiten untersuchen alle das Dimensionsverhalten des Gipses an sich, jedoch nie die Dimensionstreue des Gipses gegenüber einem Urmodell, was für die gestellte Aufgabe jedoch von entscheidender Bedeutung ist. Desweiteren lassen sich alle Untersuchungen nicht miteinander vergleichen, da es schwierig ist, den Nullpunkt für die Messungen exakt festzulegen.

Ein weiteres Manko ist, daß bei den Untersuchungen kein Vergleich der Dimensionstreue von Kunststoffen möglich ist. Ebenso läßt sich der Gips nicht galvanisieren oder mit dem Metallsprühverfahren behandeln. Dies ist jedoch für eine vergleichende Übersicht erforderlich.

Aus den genannten Gründen wurde in der vorliegenden Arbeit ein Urmodell gebildet, das vergleichende Untersuchungen für alle Kombinationen von Abdruck-

und Modellwerkstoffen ermöglicht. Es wurde auch eine Form gewählt, die der häufigsten Dimension im Bereich des Zahnersatzes, der einspannigen Brücke, entspricht.

2. Löffel

Das Dimensionsverhalten der Modellwerkstoffe ist unter anderem abhängig von der Schichtstärke des Abdruckmaterials, da die Dicke der Abformschicht die Größe der Schrumpfung bestimmt. (13) Es wurde daher ein Löffel gewählt, der eine etwa gleiche Dicke der Abformschicht ermöglicht. Dies wurde dadurch erleichtert, daß am Urmodell vier Führungsschienen angebracht wurden, die den Löffel immer in der exakt gleichen Position halten.

Zur Vermeidung von Hebelungen und Kippungen, die nach FRANZ, G. (13) eine Verzerrung von 0,06 % ermöglicht, wurde am Löffel ein ausreichend dimensionierter Griff angebracht, der ein ruckartiges Abziehen des Abdrucks vom Urmodell ermöglicht.

Da auch die Haftung des Abdruckmaterials am Löffel mit entscheidend für die Dimensionstreue des Modellwerkstoffes ist, wurde der Löffel mit Löchern von 2 mm Durchmesser perforiert.

3. Sockelgerät

Um jede unnötige Beeinflussung des Materials auszuschalten, wurden die Messungen mit einem Meßmikroskop durchgeführt.

Dies erfordert jedoch, daß jedes Modell exakt gleich unter dem Meßmikroskop liegt, denn jede Verkantung oder Schräglage ruft eine Verkürzung der tatsächlichen Distanz hervor.

Um dies zu erreichen, wurden die Arbeitsmodelle auf dem Sockelmodell immer an der gleichen Stelle in der gleichen Lage fixiert. Die rechtwinklige Grundplatte des Sockelgerätes konnte dann an den gleichbleibenden Schienen des Meßmikroskopes exakt angeschlagen werden.

Ein weiterer Grund für die Sockelung des Arbeitsmodells ist, daß nach Untersuchungen von FRANZ, G. (13) die Sockelung einen Einfluß auf das Dimensionsverhalten des Modellwerkstoffes hat.

So fand FRANZ, G. (13), daß der günstigste Zeitpunkt zur Sockelung 20 Minuten nach Mischbeginn des Gipsbreies für die Zahnreihe ist.

Dieser Zeitraum wurde auch in der vorliegenden Untersuchung eingehalten.

Auch hat die Sorte des verwendeten Sockelgipses Einfluß auf das Dimensionsverhalten. So fanden FRANZ, G. und LEHMANN (13) daß gering expandierender

Hartgips Typ IV den geringsten Einfluß hat. Da jedoch in der Praxis dies nie geschieht, wurde in den vorliegenden Versuchen mit Hartgips Typ III gesockelt.

4. Durchführung der Messung

In den bisherigen Untersuchungen des Dimensionsverhaltens von Gips an sich wurden zur Messung sowohl Meßmikroskope als auch Meßuhren verwendet.

In den Untersuchungen von WELKER, AURADNICZEK (35) und FRANZ, G. (13), die die Dimensionstreue von Werkstoffen gegenüber einem Urmodell beinhalten, werden nur Meßuhren verwendet.

Nur diese beiden Untersuchungen lassen sich mit der vorliegenden Arbeit vergleichen, da alle übrigen Untersuchungen keine Aussage darüber zulassen, wie sich das Arbeitsmodell gegenüber einem Urmodell verhält.

Jede Meßuhr übt aber einen Druck gegenüber dem Werkstoff aus und beeinflusst ihn entsprechend. Desweiteren treten beim Messen mit Fühlern dadurch Verfälschungen auf, da es nur mit großem Aufwand möglich ist, bei verschiedenen Modellen immer am gleichen Punkt zu messen.

Da es für eine exakte Arbeit auch wichtig ist zu wissen, wann das verwendete Material zur Ruhe gekommen ist, wurden über einen Zeitraum von zwei Wochen die Modelle vermessen. Die erste Messung erfolgte direkt nach Erhärtung des Modellwerkstoff-

fes, also zu dem Zeitpunkt, zu dem er frühestens weiterverarbeitet werden kann.

5. Reproduzierbarkeit

Durch die festgelegte und beschriebene Arbeitsweise läßt sich die vorliegende Untersuchung jederzeit wiederholen. Desweiteren gibt der Versuchsaufbau die Möglichkeit, jede Kombination von Abformmaterial und Modellwerkstoff vergleichend zu untersuchen und somit eine optimale Findung der Kombination, die die größte Dimensionstreu gegenüber einem Urmodell aufweist. Zur Reproduzierbarkeit gehört auch die Genauigkeit der eigenen Versuche: Die geringste Streuung zeigt sich bei den Hartgipsen mit einem Minimum von 0,01 % (Tab. 11 und 13), die höchste beim Kunststoff Metalloplast ohne Sprühmetallschicht mit einem Maximum von 0,08 % (Tab. 21). Dabei ist zu berücksichtigen, daß die größeren Abweichungen beim Kunststoff nicht durch Meßungenauigkeiten sondern offenbar durch unterschiedliche Polymerisationsschrumpfung verursacht werden.

2.3.2. Eigene Meßergebnisse - übrige Meßergebnisse

1. Vergleich gleicher Materialkombinationen

Von den in dieser Untersuchung vorliegenden Materialkombinationen ist nur der Werkstoff Tewestone von WELKER, D. und AURADNICZEK, J. (35) in einer Versuchsanordnung untersucht worden, der einen direkten Vergleich zuläßt. Auch hier wurde mit Hilfe eines Silikonabdruckes von einem Urmodell ein Ar-

beitsmodell erstellt und beide wurden vergleichend miteinander vermessen. Anstelle von Optosil wurde jedoch Silcoflex verwendet. WELKER und AURADNICZEK (35) kommen bei Tewestone zu einer Dimensionsänderung von ca. 0,93 % linear nach einer Woche Lagerzeit.

Die eigenen Untersuchungen weisen für Tewestone nur eine Dimensionsänderung von 0,068 - 0,086 % linear auf, gemessen nach einer Woche Lagerzeit.

Diese großen Unterschiede haben verschiedene Ursachen.

1. Der Silikonabdruck wurde vor dem Ausgießen 60 Minuten gelagert, dies führt zu einer Vergrößerung des Lumens.
2. Es wurde kein Doppelabdruck durchgeführt, der die Kontraktion des Erstabdruckes teilweise ausgleicht.
3. Da mit Fühlern gemessen wurde und das Arbeitsmodell sich auch in der X-Achse verändert, dürfte es ausgeschlossen sein, beim Urmodell und Arbeitsmodell jeweils den gleichen Punkt exakt zu vermessen und zu vergleichen.
4. Da aus den Untersuchungen von WELKER und AURADNICZEK (35) nicht hervorgeht, ob die Spezialhartgipse unter Vakuum angemischt wurden, besteht auch hier eine weitere Möglichkeit der Ursache für die Größe der Diskrepanz zwischen den beiden Ergebnissen.

2. Vergleich ähnlicher Materialkombinationen

WELKER und AURADNICZEK (35) untersuchten von den Spezialhartgipsen weiterhin den Werkstoff Dentaloc. Hier kommen sie zu einer linearen Dimensionsänderung von 1,2 %.

Bei allen eigenen Untersuchungen liegen die linearen Dimensionsänderungen für Spezialhartgipse zwischen 0,086 % für Tewestone und 0,265 % für Moldaroc wenn nicht unter Vakuum angemischt wurde.

Die Ursachen für die großen Unterschiede dürften in den bereits zuvor beschriebenen Gründen zu finden sein.

FRANZ, G. (13) hat die Materialkombination Optosil-Vel-Mixstone untersucht. Im Gegensatz zu der vorliegenden Arbeit wurde der Optosilabdruck mit Wachs eingeschachtelt und 30 Minuten nach Mischbeginn ausgegossen. Sie kommt bei unterschiedlichsten Versuchsanordnungen zu einer linearen Dimensionsänderung zwischen 0,05 % und 0,17 %. Diese Werte liegen in der gleichen Größenordnung wie die eigenen.

Die Modellkunststoffe Impredur, Diemed und Dicodur wurden von WELKER und AURADNICZEK (35) in gleicher Versuchsanordnung wie Tewestone untersucht. Sie kommen dabei zu folgenden linearen Abweichungen:

Impredur zwischen + 0,04 % und + 0,09 %

Diemed - 0,09 %

Dicodur zwischen - 1,43 % und - 3,49 %

Die eigenen Untersuchungen zeigen eine Abweichung zwischen - 0,116 % für Cp 15 und - 0,281 % bei Metalloplast.

Während der Werkstoff Dicodur ohne ersichtlichen Grund weit aus dem Rahmen fällt, liegen die Werte von WELKER und AURADNICZEK (35) günstiger als die eigenen. Dies liegt darin begründet, daß der Silikonabdruck vor dem Ausgießen eine Stunde gelagert wurde und das dadurch entstandene größere Lumen der Kontraktion der Kunststoffe entgegen wirkt.

3. Einordnung bisher nicht bekannter Materialkombinationen

Bisher nicht untersucht wurde die Dimensions-treue wenn die Abdrucke vor dem Ausgießen mit dem Metallspritzverfahren behandelt wurden. Die vorliegende Arbeit zeigt jedoch, daß die Dimensionstreue bei den Modellen aus Spezialhartgipsen erheblich verschlechtert wird. So vergrößert sich die lineare Abweichung bei Tewestone unter Vakuum angemischt und 15 s Sprühzeit um 0,23 % linear. Bei nur 5 s Sprühzeit beträgt die Verschlechterung noch 0,14 %. Das heißt, je dicker die Metallschicht desto größer ist die Abweichung vom Urmodell. Dies hat seine Ursache darin, daß das Abformmaterial bei Zufügung von Wärme in Richtung Löffelwand expandiert, durch die erstarrte Metallschicht jedoch nicht wieder in seine Ursprungsform zurückkehren kann.

Besser sieht es hier bei der Verwendung von Kunststoffen aus. Sowohl bei Cp 15 als auch Metalloplast nähert sich nach 5 s Sprühzeit das Arbeitsmodell stark dem Urmodell.

Bei längerer Sprühzeit weisen die Modelle dann gegenüber dem Urmodell eine Expansion auf; Metalloplast 0,045 % linear und Cp 15 0,145 % linear. Eine große Schwierigkeit liegt jedoch darin, eine gleichstarke Metallschicht auf dem Modell zu erzielen. Dies gilt besonders für die senkrechten Flächen.

4. Einfluß der Vakuumbehandlung

Der Einfluß der Vakuumbehandlung auf die Dimensionstreue wurde bisher noch nicht untersucht. Da die Modellkunststoffe nicht unter Vakuum angemischt werden können, läßt sich nur eine Aussage über die Spezialhartgipse machen.

Bei Tewestone verbessert sich die Dimensionstreue durch Vakuumanmischung um 0,02 %, bei Moldaroc um 0,08 % linear.

2.3.3. Wertender Vergleich

Wie die eigenen Untersuchungen zeigen, ist bei Verwendung von Optosil-Xantopren für Brücken, Kronen und Modellguß direkt nach Abnahme des Abdrucks ein Negativ mit der geringsten Abweichung von linear 0,0006 % $\pm$ 0,005 % vorhanden.

Dies gilt allerdings nur für die vorgenommene Versuchsanordnung. Berücksichtigen muß man jedoch die Wärmekontraktion bei Abdrücken am Patienten. Diese beträgt nach FRANZ, G. (13) bei Optosil ca. 0,02 % linear. Bei Verwendung eines Doppelabdruckes dürfte sich dieser Betrag allerdings etwas reduzieren. Die Lagerschrumpfung liegt nach SCHWINDLING (37) nach zwölf Stunden ungefähr bei 0,25 % linear.

Diese Faktoren kommen in den vorliegenden Versuchen nicht zum Tragen. Das heißt, die gefundenen Werte deuten auf eine bessere Dimensionstreuung als man in der Praxis erwarten darf.

Wie die Versuche weiterhin zeigen, erhält man die besten Ergebnisse, wenn man die Abdrücke unbehandelt läßt, und der Spezialhartgips unter Vakuum angemischt wird. Auf dem Arbeitsmodell sollte jedoch frühestens nach fünf Tagen weitergearbeitet werden, da erst nach dieser Zeit der Gips zur Ruhe gekommen ist. In dieser Zeit kommt es nach anfänglicher Expansion zu einer Kontraktion des Spezialhartgipsmodells, das auf das Verdunsten des nicht gebundenen freien Wassers zurückzuführen ist. Nach einer Woche bleibt die Dimension bei allen Arbeitsmodellen konstant.

Über die Dimensionstreuung bei Arbeitsmodellen von Zahnbögen und zirkulären Brücken kann zunächst keine Aussage getroffen werden.

2.4. Klinische Hinweise

Am Schluß der Untersuchung stellt sich die Frage, welche klinischen Erkenntnisse daraus zu gewinnen sind. Das heißt, unter welchen Bedingungen und mit welchen Werkstoffen erreicht man das für die Anfertigung von Zahnersatz beste Ergebnis.

Die geringste Expansion zeigten die Spezialhartgipse Typ IV unter Vakuum angemischt. Bei Verwendung von Optosil-Xantopren Abdrücken sollte zur Vermeidung größerer Expansion sofort der Abdruck ausgegossen werden und das Modell erst nach einer Woche weiterverarbeitet werden, da der Spezialhartgips erst nach dieser Zeit endgültig zur Ruhe gekommen ist. Verzichtet werden sollte auf alle Fälle auf das Metallspritzverfahren, da es zu ungenau arbeitet und das Dimensionsverhalten ungünstig beeinflusst.

Bei Verwendung von Kunststoffen als Modellwerkstoff bringt die Verwendung des Metallspritzverfahrens eine Verbesserung der Dimensionstreu. Es sollte jedoch nicht länger als 5 s gesprüht werden. Um eine möglichst gleichmäßige Metallschicht zu erhalten, muß mit großer Sorgfalt gearbeitet werden.

Eine Verbesserung der Dimensionstreu erreicht man, wenn der Optosil-Xantopren Abdruck vor dem Ausgießen

24 Stunden gelagert wird. Auch hier ist eine Weiterverarbeitung des Modells ohne Metallschicht erst nach einer Woche angezeigt. Bei Verwendung des Metallspritzverfahrens ist das Modell bereits nach 24 Stunden formstabil.

3. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wird das Dimensionsverhalten von Modellwerkstoffen untersucht. Dazu wurde von einem Messing-Modell ein Elastomerabdruck genommen, ein Modell mit den verschiedenen Werkstoffen hergestellt, zu verschiedenen Zeiten ausgemessen und mit dem Ursprungsmodell verglichen.

An je zehn Proben sind das lineare Expansions- bzw. Kontraktionsverhalten an 50 mm langen Proben mit einer Meßstrecke von 40 mm gemessen worden.

Es wurden untersucht:

- 5 extraharte Hartgipse (Typ IV nach DIN 13 911),
- 2 Kunststoffe.

Die zwei Schichtstärken beim Metallspritzverfahren entstanden durch 5 bzw. 15 s langes Besprühen.

Es wurden insgesamt 1260 Messungen an 180 Modellen vorgenommen. Jedes Arbeitsmodell wurde mit Hilfe eines eigenen Abdruckes hergestellt und über einen Zeitraum von zwei Wochen vermessen.

Die Untersuchungen gliedern sich in folgende Abschnitte:

1. Spezialhartgips angerührt von Hand
expandiert zwischen 0,09 % und 0,25 %
linear.

2. Spezialhartgips angerührt mit Hilfe eines Vakuumgerätes expandiert zwischen 0,07 % und 0,16 %.
3. Wie 2. jedoch wurde der Abdruck 5 s mit Hilfe des Metallspritzverfahrens behandelt. Das Modell expandiert um 0,20 %.
4. Wie 3. jedoch mit einer Sprühzeit von 15 s. Das Modell expandiert zwischen 0,30 % und 0,32 %.
5. Kunststoffe von Hand angerührt. Das Modell kontrahiert zwischen 0,12 % und 0,28 %.
6. Kunststoffe von Hand angerührt und 5 s mit Hilfe des Metallspritzverfahrens behandelt. Das Modell kontrahiert zwischen 0,01 % und 0,02 %.
7. Wie 6. jedoch mit einer Sprühzeit von 15 s. Das Modell expandiert zwischen 0,04 % und 0,14 %.

Die Werte gelten für die Messungen nach einer Woche Lagerzeit. Modelle, die nicht mit dem Metallspritzverfahren behandelt werden, sind erst nach ca. einer Woche, die behandelten bereits nach 24 Stunden formstabil.

4. SCHRIFTTUMVERZEICHNIS

1. BOES, H.J. : Form- und Wiedergabegenauigkeit sowie Formänderung von Abdruckmaterialien für Kronen und Brückenarbeiten in Abhängigkeit vom Abformverfahren und der Aufbewahrung des Erstabdruckes.
Med.Diss. Köln 1975
2. BRADEN, M. : Characterization of the setting process in dental polysulfide rubbers.
J.dent.Res.45, 1065-1071 (1966)
3. BRADEN, M. und ELLIOT, J.C. : Characterization of the setting process of silicone dental rubbers.
J.dent.Res. 45, 1016-1023 (1966)
4. CHONG, M.P. and DOCKING, A.R. : Some setting characteristics of elastomeric impression materials.
Austr.dent.J. 14, 295-301 (1969)
5. DERMANN, K. Modellwerkstoffe.
S. 71-79. In Eichner, K.: Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. 4. Aufl., Bd. 1, Hütthig, Heidelberg 1981
6. Deutsches Institut für Normung : DIN 1168 Baugipse. DIN 13 911, April 1976,
Zahnärztliche Werkstoffe, Gips.
Beuth, Berlin-Köln

7. DREYER JØRGENSEN, K. : Studies on the setting of Plaster
of PARIS.
Odont.T. 61, 305-346 (1953)
8. DREYER JØRGENSEN, K. : Prüfungsergebnisse zahnärztlicher
Gußverfahren.
Dtsch.Zahnärztl.Z. 13. 461-469
(1958)
9. EIFINGER, F.F. und : Die Präzision von Modellstümpfen
STACHNISS, V. nach thermischer Behandlung von
Impregum-Abdrücken im Versilberungsbad.
Zahnärztl.Welt/Reform 83, 1029-1034 (1974)
10. FINGER, W. : Werkstoffkundliche Untersuchungen an neuen Modellmaterialien.
Zahnärztl.Welt/Reform 147, 747-751 (1972)
11. FRANZ, G. : Möglichkeiten und Grenzen elast. Abformmaterialien.
Zahnärztl.Mitt. 65, 24-29 und 64-68 (1975)
12. FRANZ, G. : Abbindezeit von Gips
I. Kritik bisheriger Methoden
Dtsch.Zahnärztl.Z. 28, 677-682 (1973)
13. FRANZ, G. : Dentalgipse.
48, 1. Aufl. Hanser Verlag 1981

14. FRANZ, T. : Die elastische Rückstellung der Abformmassen und ihre Abhängigkeit von den Prüfungsbedingungen. Dtsch.Zahnärztl.Z. 27, 604-609 (1972)
15. FRIEND, L. und : Spray-Metallisierung von Modellen in elastischen Abdruckmaterialien. Brit.dent.J. 118, 329 (1965)
- BARETT, B.E.
16. GYSI, A. : Zusammenfassung der Fehlerquellen, die bei Anfertigung einer Kautschukplatte entstehen können, wenn die physikalischen und chemischen Eigenschaften der verwendeten Materialien nicht genügend Rechnung getragen wird. Schweiz.Vjschr.Zahnheil. 28, 64-74 (1918)
17. HOFMANN, M. : Abformung und Modellzielsetzung aus klinischer Sicht. Dtsch.Zahnärztl.Z. 27, 85-90 (1972)
18. HOFMANN, M. und : Über das Dimensionsverhalten verschiedener Abdruckwerkstoffe im Hinblick auf ihre Eignung für das Korrekturabdruckverfahren. Dtsch.Zahnärztl.Z. 23, 6-19 und 438-449 (1968)
- LUDWIG, P.

19. KLÖTZER, W.T. : Gips. In: K. Eichner: Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung.
und KÖRBER, E. 3. Aufl. Dr. Alfred Hüthig-Verlag, Heidelberg (1974)
20. KÖRBER, E. und : Vergleichende Untersuchungen bei
LEHMANN, K. Abdruckmaterialien für Kronen und Brücken.
Dtsch.Zahnärztl.Z. 24, 791-797
(1969)
21. KREBS, R. und : Meßtechnische Probleme der Ober-
MARX, H. flächenreproduktion von Abdruckmaterialien.
Dtsch.Zahnärztl.Z. 27, 610-615
(1972)
22. KRUIS, A. : Ullmanns Encyclopädie der technischen Chemie. W. Foerst, 8.Bd.
Verlag Urban und Schwarzenberger, München-Berlin 1957, 97-132
23. MAHLER, D.B. : Plaster of Paris and Stone materials.
Int.dent.J. 5, 241-253 (1955)
24. PANTKE, H. und : Untersuchungen über das Dimensionsverhalten der Modellwerkstoffe Duroc und Glasstone-Modellen.
HERRNSDORF, U. Dtsch.Zahnärztl.Z. 20, 561-564
(1966)

25. REHBERG, H.J. : Exakter Randabschluß - was ist das?
Dtsch.Zahnärztl.Z. 26, 696-699 (1971)
26. SCHOENBECK, F. : Kurzer Leitfaden der zahnärztlichen Materialkunde.
S. 61-90, 2. Aufl. Hermann Meusser, Berlin 1931
27. SCHWICKERATH, H. : Das Formverhalten von Abformmaterial im Versuch und in der Praxis.
Dtsch.Zahnärztl.Z. 31. 680-684 (1976)
28. SKINNER, E.W. : Gypsum produkts. Aus: The science
and PHILLIPS, R.W. of dental materials.
W.B.Saunders comp. Philadelphia and London 51-69 (1967)
29. VAN'T HOFF, H.J. : Gips und Anhydrit.
ARMSTRONG, E.E. Z.physiol.Chemie, Stöchiometrie u. Verwandtschaftslehre 45,
HINRICHSSEN, S. 257-298 (1903)
WEIGERT, F. und Just, G.
30. VIOHL, J. : Verarbeitungszeit und Abbindezeit elastomerer Abformwerkstoffe.
Dtsch.Zahnärztl.Z. 27, 598-603 (1972)

31. VIOHL, J. : Abformwerkstoffe, S. 45-70. In:
K. Eichner: Zahnärztliche Werk-
stoffe und ihre Verarbeitung.
4. Aufl. Bd. 1. Hühig, Heidel-
berg 1981
32. VOELLMY, A. : Die Prüfung der Gipse und Gips-
mörtel. IX.Kap. des 3. Bandes
Handbuch der Werkstoffprüfung
E. Siebel. J. Springer, Berlin
1941
33. WAIS, U.-V. : Untersuchungen mit zahnärztli-
chen elastomeren Abformwerkstof-
fen zur Verarbeitungszeit und
Abbindezeit nach dem ISO-Spezifi-
kationsentwurf.
Zahnmed.Diss., FU Berlin 1972
34. WEIKART, P. : Gips. In: Werkstoffkunde für Zahn-
ärzte, S. 205-213,
Carl Hanser, München
1966
35. WELKER, D. und : Ergebnisse experimenteller Unter-
AURADNICZEK, J. suchungen neuer Modellwerkstoffe.
Stomt. DDR 26, 162-169 (1976)
36. ZUKUNFT, D. : Über die Eigenschaften und Ver-
arbeitung des Spezialwerkstoffes
"Impredur".
Zahntechnik 18, 345-349 (1977)

37. SCHWINDLING, R. : Lineare Dimensionsveränderung
elastomerer Silikonstoffe für
das Doppelabdruckverfahren.
Zahnärztl. Welt 79, 771-776
(1970)

Herrn Prof.Dr.med.dent. Joachim Viohl danke ich für die freundliche Überlassung des Themas. Vor allem bin ich ihm für seine Hilfsbereitschaft und Anleitung zu Dank verpflichtet.

Weiterhin danke ich Herrn Dr. Dermann und Frau Bölling für ihre Hilfe bei der Durchführung der Versuche.

Lebenslauf

Am 12. August 1945 wurde ich als Sohn des Zollbeamten Walter Palloks und seiner Ehefrau Hanny, geb. Strauß, in Bandelow geboren.

Vom Herbst 1951 bis April 1956 besuchte ich die Volksschule Untereggingen, danach bis April 1962 die Gymnasien Waldshut und Lörrach. Daran schloß sich eine Ausbildung zum Bauzeichner bis April 1965 an.

Nach Ableistung meines Wehrdienstes vom 1.4.1965 bis 31.3.1967 studierte ich an der Fachhochschule in Lübeck die Fachrichtung Ingenieurbau. Ich beendete das Studium am 9.7.1970 mit der Note "sehr gut". Bis Herbst 1975 war ich als Ingenieur tätig.

Am 1.10.1975 begann ich an der FU Berlin mit dem Studium der Fachrichtung Zahnmedizin, das ich am 27.2.1981 mit der Note "sehr gut" beendete.

Seit Herbst 1978 beschäftigte ich mich mit der vorliegenden Dissertation.

Von April 1981 bis Juni 1983 war ich Assistenz Zahnarzt. Seit Juli 1983 führe ich eine eigene Zahnarztpraxis in Stuttgart.

